

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

## 提升私校研發能量專案計畫—結構風工程研究之基礎建設

(1/2)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC91-2745-E-032-001-

執行期間：91 年 08 月 01 日至 92 年 07 月 31 日

執行單位：淡江大學土木工程學系

計畫主持人：鄭啟明

共同主持人：李世鳴，吳重成，林堉溢，盧博堅

計畫參與人員：共同主持人：王人牧，張正興，陳若華，陳振華 助理：  
傅仲麟，蔡明樹

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 6 月 2 日

# 結構風工程研究之基礎建設

## 目 錄

第一章 前言 .....	1-1
第二章 經費使用及計畫進度概述.....	2-1
2-1 儀器採購及經費使用 .....	2-1
2-2 研究子題之執行狀況及進度概述 .....	2-4
2-3 執行進度甘梯圖 .....	2-9
第三章 3D 有限元素結構動力分析模式 .....	3-1
3-1 儀器特性.....	3-1
3-2 試驗流程.....	3-3
3-3 分析方法.....	3-4
3-4 分析結果.....	3-8
第四章 流場量測與紊流結構識別技術研究 .....	4-1
4-1 計劃概述.....	4-1
4-2 採購儀器與設備 .....	4-2
4-3 實驗操作流程.....	4-4
4-4 煙流可視化.....	4-6
第五章 風工程計算平台之建構.....	5-1
5-1 計畫概述.....	5-1
5-2 軟硬體建置.....	5-1
5-3 風工程模擬系統軟體之測試與實際應用.....	5-3
第六章 結構風工程知識管理平台之發展 .....	6-1
6-1 計畫概述.....	6-1

6-2 結構風工程知識管理需求分析 .....	6-1
6-3 知識管理網路基礎設施建置 .....	6-3
6-4 整合型知識管理系統程式撰寫和研發 .....	6-5
<b>第七章 橋樑抗風減振之消能裝置校正基準平台之架構建立 .....</b>	<b>7-1</b>
7-1 計畫概述 .....	7-1
7-2 儀器簡介 .....	7-1
7-3 實驗裝置之架設簡介 .....	7-2
7-4 橋面版結構之系統識別 .....	7-6
<b>第八章 長跨徑橋梁風洞試驗方法與技術的提升 .....</b>	<b>8-1</b>
8-1 計畫概述 .....	8-1
8-2 顫振導數 .....	8-2
8-3 類神經網路 .....	8-3
8-4 數值分析 .....	8-6
8-5 結論 .....	8-6

# 第一章 前言

陸地上的建築與土木結構物所受的環境作用力大體上可分為地震力與風力兩大項，台灣恰好位於強震與強風區。地震可能造成生命財產的災害極為驚人，是社會大眾及工程界極為重視的防災項目。相對而言，風害造成損失以及對於社會的衝擊較為溫和，也較不受工程界與防災體系的重視。然而依據保險業者的統計，全球風災造成的經濟損失超過其他自然災害。台灣地區的建築形式容或與其他地區不同，使得風災造成的經濟損失較之地震為輕，然仍是一項不可輕忽的環境作用力。

淡江大學土木學門相關系所多年以來以風工程研究為其發展重點，近年從事之風工程研究包括：(i)鈍體氣動力(ii)建築結構風工程(iii)橋梁風工程(iv)環境風場(v)大氣擴散(vi)控制減振(vii)計算風工程等。為了使本計畫能夠有效的達成其目標，所以將現階段風工程的發展重點設定在結構風工程：高層建築、高塔、低層建築、橋梁等結構物所受的風力以及其結構反應。

結構風工程的主要研究標的物包括了高層建築與高塔、低層建築、纜索支撐橋梁等。研究的內涵為(i)探討風場與結構體之間的空氣動力特性 (ii)結構物所受的风壓與風力特性 (iii) 結構物受風作用的反應與可能的氣彈力現象 (iv)透過主、被動控制裝置，進行結構減振 (v)結構設計風力之研擬。

由於結構風工程的問題核心是極為複雜的流體-結構互制現象，傳統上的研究方法是風洞實驗物理模擬為主，數值計算為輔。近年來由於計算機的快速進步，使得計算流體力學(CFD)在風工程上的應用逐漸受到重視，在可預見的未來計算風工程(Computational Wind Engineering)與風洞實驗必同樣成為風工程研究的重要工具，屆時一個具有研發潛能的實驗室必須同時具備風洞實驗與CWE的基礎架構。此外，由於風工程是一項應用科學，實驗室的各項研究必須和工程實務結合。換言之，在實驗室中無論是採用物理模擬或是數值模擬，都必須以實場監測數據為研究方法的最終驗證。在國際風工程界，結構風力效應的實場監測都是一項受到重視的研究工作，也是本研究中心長期發展風工程研究所應具備的研究能力之一。

本計畫的目的在於以提昇結構風工程研究能力，以淡江大學土木、水環、航太三系從事風工程研究的教師為核心，依據結構風工程長遠發展的需求邀請兩位校外從事相關研究的學者，組成結構風工程研究團隊，期望透過所提出之整合型研究計畫，達成下列目標：

1. 結構風工程研究之相關硬體的改善，提昇團隊之長期研究能量。
2. 風洞實驗中紊流、風壓、風力量測與分析系統之改進。



3. 建立數值風工程計算能力(CWE -- Computational Wind Engineering)。
4. 建立一個風工程知識管理平台以有效整合研究團隊在風洞實驗、數值計算、模式分析等等方面所累積的研究成果。
5. 建立良好的減振阻尼器基本性能測試能力，提昇未來發展結構減振相關研究的品質。
6. 橋梁風洞模型實驗能力之發展與改善。

本進度報告將敘述本計畫自 91 年 8 月執行至今之成果，其內容將包括以下篇章：

前言

經費使用及計畫進度概述

3D 有限元素結構動力分析模式之發展

流場量測與紊流結構識別技術研究

風工程計算平台之建構

結構風工程知識管理平台之發展

橋樑抗風減振之消能裝置校正基準平台之架構建立

長跨徑橋梁風洞試驗方法與技術的提升

## 第二章 經費使用及計畫進度概述

本章內容主要分為兩部分：第一部分是概述本計畫中所有重要硬體設備之採購狀況，及直接費用等經費之使用狀況，第二項工作則是各研究子題之執行狀況及進度。

### 2-1 儀器採購及經費使用

本計畫儀器預算原為 5,700,000 元，而目前已採購完成之儀器設備及軟體依計畫需求分為六大類，其總價為 5,713,054 元，超出部分為 13,054 元。擬由其他費用流用至儀器費，詳細內容及金額如下表所示：

品名	多頻道電子式風壓掃描器：	金額	2,150,000 元
說明	<p>(1)壓力訊號處理系統</p> <p>RADBSAE3200</p> <p>RAD A/D3200 A/D MODULE</p> <p>USB-EXT3200</p> <p>RDS3200 Remote digital switch</p> <p>RPM1000 Power supply</p> <p>Connect cable</p> <p>(2) 64 頻道壓力感應器模組</p> <p>ZOC33/64P 64-channel pressure scanning module (二組)</p> <p>Temperature Calibration Data for ZOC33</p> <p>(3)軟體</p> <p>DSM/RADLink window based Ethernet communication</p> <p>Labview Driver for DMS for windows</p> <p>RAD.EXE executable software for RADBASE3200</p> <p>DSM Manual Field Cal software</p> <p>(4)零配件/Accessories</p>		

品名	流場可視化系統	金額	1,057,118 元
說明	(1)水冷式氬離子雷射器 ( NT 555,000) 雷射共振腔體 SP-2016 穩流可調式雷射激勵器 SP-2550 雷射遙控器 SP-2670 (2) 流場數位攝影系統 (NT 502,118) 高速攝影機 Photron FASTCAM-SUPER,MODEL 1000 110V Power supply		

品名	計算風工程所需之軟、硬體	金額	718,331 元
說明	(1) 計算流體力學軟體/STAR-CD+PROSTAR (永久買斷)+前處理軟體/ICEM CFD (租用一年) ( NT 470,000) (2) 計算流體力學軟體外掛模組 ( NT 55,125) (3) 計算流體力學後處理軟體/Tecplot ( NT 44,000) (4) 資訊硬體 Pentium 4 2.53G 三台 ( NT 149,206)		

品名	建立結構風工程知識管理平台之軟硬體	金額	290,700 元
說明	(1) Windows 2000 Server 軟體 ( NT 149,206) (2) JBuilder 7(教育版) ( NT 28,000) (3) Jrules 智慧型代理人套件( NT 76,000) (4) WebChart3D V4.7(Linux&JSP) ( NT 56,000) (5) 資訊硬體-伺服器 Pentium 4 2.53G 兩台 ( NT 120,600)		

品名	橋樑消能減振之校正基準平台	金額	1,238,500 元
說明	(1)二軸振動模擬平台( NT 425,000) (2)頻譜分析儀/Spectral Analyzer( NT 565,500) 8 頻道動態分析儀 即時訊號分析處理器 (3)資料擷取系統( NT 165,000) NI PCI-7344 NI PCI-6036E (4)加速度計( NT 83,000)		

品名	實場監測系統	金額	258,405 元
說明	(1) 實場壓力量測設備( NT 179,550) 四頻道風壓訊號處理器(VAL-CD280) 壓差轉換器(VAL-DP15) (2)四頻道數位示波器 Tektronix TD-2014 ( NT 78,855)		

其他費用 使用項目	電腦耗材、實驗耗材、 差旅費、郵電費、文具 費	預算金額	506,600 元
		目前執行金額	420,682 元

## 2-2. 研究子題之執行狀況及進度概述

### 1. 3D 有限元素結構動力分析模式之發展

此計畫內容為配合電子式風壓掃描器建立一套 3D 有限元素法之「多自由度結構風力動態分析架構」，完成後除了可以整合目前表面風壓與結構整體風力分屬不同實驗方法的現況之外，可使研究者能藉由風洞實驗所得之多頻道瞬時風壓數據，進行同步之時間域結構動態分析。對於建築風工程的基礎研究及工程應用都有很大的幫助。

本年度工作項目主要在於建立：(1)結構物整體表面風壓瞬時量測系統，(2)多自由度結構風力動態分析架構。

在建立結構物整體表面風壓瞬時量測系統部分，目前已購買一套具有 128 頻道之電子式壓力掃描器，可同時量取 128 組壓力資料，其採樣速度達 200 次/秒以上。另發展一套可顯示建築物之瞬時風壓分佈及變化狀態之程式，配合電子式壓力量測系統，取得分佈於建築物表面風壓孔的瞬時風壓值，可將建築物表面瞬時壓力分佈透過繪圖程式庫，以彩色圖片顯示於螢幕上，在顯示間隔時間很小時則有動畫效果，由此動畫中可瞭解風所造成建築物表面壓力分佈隨時間變化情形。

在建立多自由度結構風力動態分析架構方面，研究方式係以先製作結構物縮尺模型進行風洞試驗，將壓力量測系統所取得建築物表面的瞬時風壓值，化為結構各節點之風載重，再以有限元素分析軟體模擬結構物，將試驗所得之風力歷時資料代入進行時間域分析，如此可得結構物在整個歷時資料中之結構反應，根據該分析結果可求得結構物各桿件之最大反應如應力、變位及加速度等。

### 2. 流場量測與紊流結構識別技術研究

要了解流場與結構體兩者間的作用特性，必須對流場之紊流結構有深入的探討。本實驗使用煙流法進行流場可視化，利用機油為燃料並將發煙熱絲(smoke wire)通電加熱後產生煙流，使用雷射切光產生光屏，以觀察柱體模型週遭煙流流動變化情形。

在第一年計畫裡，採購有 6W 功率之雷射(品名：Spectra-Physics)光源，並搭配合適的平凹片圓柱形的透鏡形成較大扇型的面積且亮度更高的切光光屏。利用本實驗室已有的發煙器設備於上游製造煙霧，藉以觀測鈍體周邊流場的變化。同時為使實驗的成果能以最佳效果紀錄下來，採購之高速 CCD 攝影機〔每秒 1000 張〕，並配合全新的電腦設備進行影像擷取與影像軟體編輯。。

目前已完成兩部分之煙流可視化試驗，分述如下。

#### A.矩柱兩側、背面煙流可視化：

在根據相關的文獻中，當高寬（B/D）比大於 0.6 時可能發生再接再觸現象發生。試驗結果可以清楚看到煙流在矩柱兩側的末端與背面產生在接觸的現象發生。

#### B.煙流通過矩柱後，尾流的變化：

與上面實驗過程相同，將改變雷射光頁的位置，並且調整高速攝影機鏡頭能拍下最大的畫面。當風速從 100rpm 至 150rpm 時，可由高速攝影機拍下的畫面區分出煙流尾跡中的 3 個渦漩結構。

### 7. 風工程計算平台之建構

本計畫第一年已完成「風工程計算平台」之建構，風工程模擬系統包括了硬體計算環境建製與計算軟體系統安裝兩大部分，硬體建製部分已完成，其內容包括：

a.三部計算平台主機建製，分別為兩部 Intel P4 2.53G 計算平台作為前處理網格產生系統與計算流體力學系統，一部 AMD K7 XP1800 計算平台作為後處理可視化分析系統使用。此三部個人計算平台主機已於 91 年 10 月完成採購程序，並分別安裝 LINUX Redhat 7.3 與 MicroSoft WINDOWS XP 作業系統。目前放置地點為風工程中心 212 研究室。

b.軟體建置，包括(1)前處理網格產生系統：泛用型網格建立系統 ICEM-CFD 軟體；(2)計算流體力學系統：泛用型熱流分析 Star-CD 軟體，ICEM-CFD 及 Star-CD 軟體已於 91 年 11 月完成採購程序，並安裝完成及軟體測試與教育訓練工作；(3)後處理流場可視化軟體系統：泛用型流場可視化 Tceplot 軟體，已於 92 年 1 月完成採購程序，並安裝完成及軟體測試與教育訓練工作。

風工程模擬系統軟體之測試與實際應用是以上述採購之軟硬體，進行三葉瓣人工心臟瓣膜之數值模型計算與三維鈍體計算流場之計算。其分析過程為(1).ICEM-CFD 泛用型網格建立系統之測試；(2).Star-CD 泛用型計算流體軟體之測試與實際應用；(3).Tecplot 泛用型流場可視化軟體之測試與應用。分析結果與文獻之比較，皆有良好之表現。

### 8. 結構風工程知識管理平台之發展

本研究希望發展一個整合性的結構風工程知識管理架構，以便於管理大型的風洞實驗資料庫與知識庫，分析程序與計算工具，設計規範與標準等。並將專家的經驗知識、實驗流程、分析方法置於其中，整合所有的資料與

相關的資訊系統，並提供一個友善的網路介面來支援整個研究團隊的聯繫與資料交換，提昇協同研究的工作效率。

首先執行結構風工程知識管理需求分析，包括結構風工程資料之收集、知識管理之文獻回顧及協同工作需求之調查。在 91 年的十至十二月之中，本團隊的成員與風工程研究中心的師生進行約五次的會談；在瞭解初步的試驗流程與方法後，本團隊也以 WebExpert 展示網際網路上數據分析的流程，藉此使彼此對於網際網路數據分析的功能上有初步共識。

知識管理網路基礎設施建置部份，本系統規格設定乃是一網際網路的工作平台，也是進行成員溝通協調的工具，所以本系統的功能目前規劃三大方向：入口網站、群體協調合作、執行實驗數據分析與圖形繪製。92 年的一月至三月，我們在採購的伺服器設備上安裝了 Linux RedHat 7.3 的作業系統，也設定了網際網路伺服器、郵件伺服器、FTP 伺服器等各項參數。另外，在此伺服器上，我們也安裝了一套 WebMail 的軟體和一套網站建置系統的程式（以上所列出的軟體都是自由軟體），另外，本團隊所評估購買的圖表繪製的軟體（WebCharts3D）也已安裝完畢；至此，軟硬體環境的建置已大致完成。知識管理系統雛型系統已具備下列功能：1.登入畫面、歡迎首頁、成員搜尋、新聞發佈、網路郵局、進階搜尋、研究中心、各研究組別內容、新增資料等。

#### 9. 橋樑抗風減振之消能裝置校正基準平台之架構建立

本計畫提出建立橋樑抗風減振應用之消能裝置元件之性能測試架構系統，做為校正基準平台，建構一套校正元件性能之可靠實驗流程，以理論配合實驗的方式，有系統地探討消能裝置之元件性能。本計畫依工作內容預計在二年期間完成，第一年重點在架構一垂直與轉動向之震動裝置，並在其上設計二自由度之振動模型模擬橋面板結構作為校正基準平台。藉強制振動方式以系統識別法得到二自由度振動模型之力量與反應之間的相關轉換函數。

目前第一年之進度已如預期完成，分述如下：

##### 1.儀器採購：

##### a.頻譜分析儀(Spectrum Analyzer)

廠牌為 OROS，型號為 OROS，附配筆記型電腦一台搭配軟體使用。搭配其相關軟體使用，頻譜分析儀具四類功能：（一）即時量測與記錄（Real Time Recording）；（二）即時快速富利葉轉換與轉換函數之運算（Real Time FFT & Transfer Function）；（三）離線快速富利葉轉換與轉換函數之運算

(Off-Line FFT & Transfer Function) ; (四) 可當波形產生器 (Function Generator) 使用。

b. 資料擷取卡 (Acquisition Card)

c. 加速度計 (Accelerometer) :

2. 實驗裝置之架設 :

a. 二軸振動平台 (2-Axis Shake Table) 之組裝 :

二軸振動平台為一具垂直與轉動向之雙軸振動裝置，每一軸由兩個同步電動馬達驅動，其中轉動軸由馬達直接驅動，垂直軸則透過導螺桿驅動。此振動裝置追蹤命令訊號之能力可達頻率 10 Hz 左右。二軸振動平台之功用為測試消能裝置之元件性能。

b. 模擬橋面版結構之兩個自由度振動模型之實驗架設 :

在二軸振動平台上建構一兩個自由度 (垂直向及轉動向) 模型模擬橋面版結構，並架設相關量測設備。

3. 橋面版結構之系統識別 :

包括垂直自由度質量率定、轉動自由度轉動慣量率定、垂直向頻率反應函數 (Frequency Response Function)、及轉動向頻率反應函數 (Frequency Response Function)。

#### 10. 長跨徑橋梁風洞試驗方法與技術的提升

本文主要是提出一種經由類神經網路運算的系統識別新方法，應用於風洞試驗數據，探求氣動力之顫振導數。

類神經網路學習模式中，以倒傳遞神經網路 (Back-Propagation Neural Network) 為最普遍的應用模式。其基本原理是利用最陡坡降法的觀念將誤差函數予以最小化。由於倒傳遞網路具有隱藏層，使得網路得以表現輸入處理單元間的交互影響，並且使用平滑可微分之轉換函數，使得網路可應用最陡坡降法導出修正網路加權值。

本文主要是以高屏溪斜張橋風洞實驗資料進行模擬。在數值模擬時，時間間隔是採  $\Delta t = 0.01 \text{ s}$  [7]，為獲得自由振動衰減反應，在垂直向與扭轉向分別給予 1 單位的初始擾動位移。位移歷時反應共取 1000 點，時間長度為 10 秒，進行類神經網路訓練。



在類神經網路訓練方面，本文係取前 8 個時間段反應，訓練出此  $t$  時刻之反應，因此， $n$  值為 8，輸入層共有 16 個節點，隱藏層設定為 16 個節點，輸出層則是 2 個節點。分析結果由圖 8-5 可知，本文方法之結果與真實數值比較皆非常吻合，此顯示本文方法之可靠性與正確性。另外，對顫振導數  $A_4^*$  之識別誤差較大的原因，主要是因為  $A_4^*$  數值較小，而導致數值運算上之誤差。

由數值模擬的結果發現，在自激力作用下，斷面模型之位移歷時反應呈現自由振動衰減的趨勢，因此，本文之識別方法可適用於考慮自激力作用下之顫振導數的識別。本文所提出以類神經網路之非傳統的運算方法，訓練結構的自由振動反應，且經由映射函數進行結構系統識別，探求出結構動力參數，最後求出各風速下之橋梁顫振導數，具有相當之準確性，未來，可將此一方法應用於含亂流場之反應訊號識別的研究。

## 2-3 執行進度甘梯圖（Gantt Chart）

項 目 \ 月 次	第一月	第二月	第三月	第四月	第五月	第六月	第七月	第八月	第九月	第十月	第十一月	第十二月
<b>總計畫</b>												
採購軟、硬體設備												
建構 3D 多自由度結構風力分析模式												
風壓模型測試與分析												
<b>子計畫一</b>												
建立雷射切光可視化架構												
柱體尾流結構定性實驗												
<b>子計畫二</b>												
計算平台前處理網格產生系統之架設與測試												
計算平台計算流體力學系統之架設與測試												
計算平台後處理可視化分析系統之架設與測試												
<b>子計畫三</b>												
結構風工程知識管理需求之分析												
知識管理網路基礎設施之建置												
<b>子計畫四</b>												
建構一垂直與轉動向之雙軸震動裝置												
建構一模擬橋面版結構之兩個自由度振動模型												
該二自由度模型系統之系統識別												

子計畫五												
斷面模型製作												
風洞實驗與數據分析												
理論推導與數值計算												
數據整合與報告撰寫												
預定進度累計百分比	7 %	16%	25%	35%	45%	55%	65%	77%	89%	98%	99%	100%

## 第三章 3D 有限元素結構動力分析模式

本計畫主要應用所採購之電子式壓力掃描器，建構一套多自由度有限元素結構模式，因目前共採購 128 頻道壓力模組，可依據在風洞實驗中取得之多點瞬時風壓量測資料，進行高層建築表面風壓、承載風力、結構反應等完整風力分析。必要時並可進行建築結構動態反應的時間域分析。

以下分別就（1）儀器特性、（2）試驗流程、（3）分析方法、（4）分析結果作較詳盡的描述。

### 3-1 儀器特性

在第一年所購置之儀器—多頻道電子式風壓掃描器，是本計畫中的主要硬體設備，用來同步擷取作用於結構表面各點的瞬時風壓，經過適當的處理便可得到結構系統所受之平均風力、擾動風力以及外牆所受之局部風壓。

本研究團隊過去研究高層建築的風力特性時，所使用簡單矩型斷面柱體的風壓模型所設置的風壓量測孔多在 250 個上下（28 孔/層×8~10 層），一般真實建築物進行風洞模型實驗時所設置的風壓恐更是多在 500 個以上，若有足夠的風壓頻道數，這套系統可以解決目前風洞實驗中表面風壓（外牆設計所需）與整體動態風力（結構系統設計所需）無法同時量測的困擾。

本計畫所採購之儀器為 SCANIVALVE 公司之產品，其元件包括：

#### 3. 壓力訊號處理系統(RADBASE3200)

- i. 最多可支援 8 組類比訊號轉換成數位訊號之轉換器 (A/D MODULE)
- ii. 最多可支援 8 組壓力感應模組，共 512 個壓力量測點。
- iii. 其類比訊號轉換成數位訊號(A/D convert)解析度達 16bit。
- iv. 最大採樣速率可達 500Hz
- v. 採 USB 介面傳輸。
- vi. 具備網路控制與傳輸功能。

其元件如圖 3-1 所示。

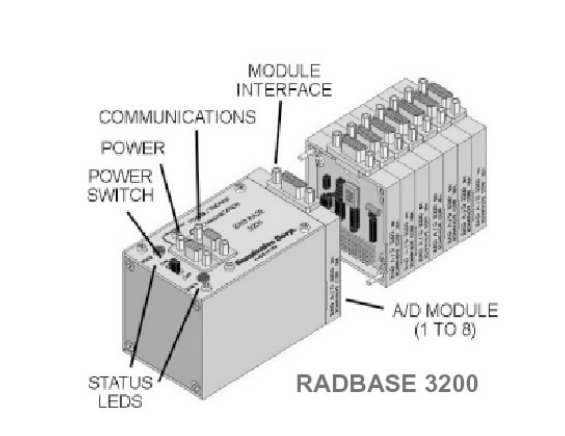


圖 3-1 壓力訊號處理系統(RADBASE3200)

11. 壓力感應器模組（兩組共 128 個壓力量測點）

特性：

- (a) 壓力感應範圍為 $\pm 10$ in H<sub>2</sub>O
- vii. 誤差範圍為 $\pm 0.2\%$
- viii. 壓力感應器動態反應可達 75Hz

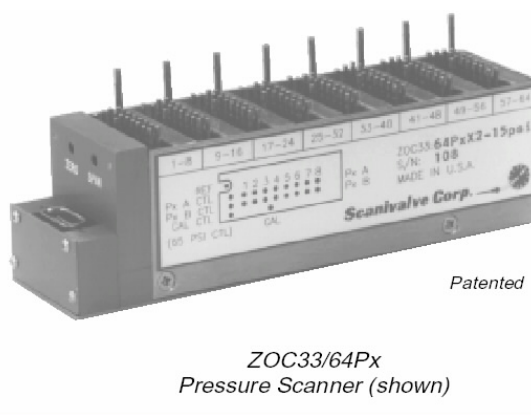


圖 3-2 64 頻道壓力感應器模組

由壓力訊號處理系統以及兩組共 128 頻道壓力感應器模組，透過電腦主機控制則可建構一套壓力量測系統，如圖 3-3 所示。透過此系統，每秒鐘可同時擷取 128 組壓力資料達 200 次以上，若將此 128 組壓力量測點，分佈於建築物表面，則可瞭解建築物局部受力狀況及整體受力狀況。但若經費許可未來將壓力感應器模組擴充至八組可同時擷取 512 組壓力資料，則將更瞭解較複雜外型建築物細部受力狀況，以更準確的求得整體受力狀況。

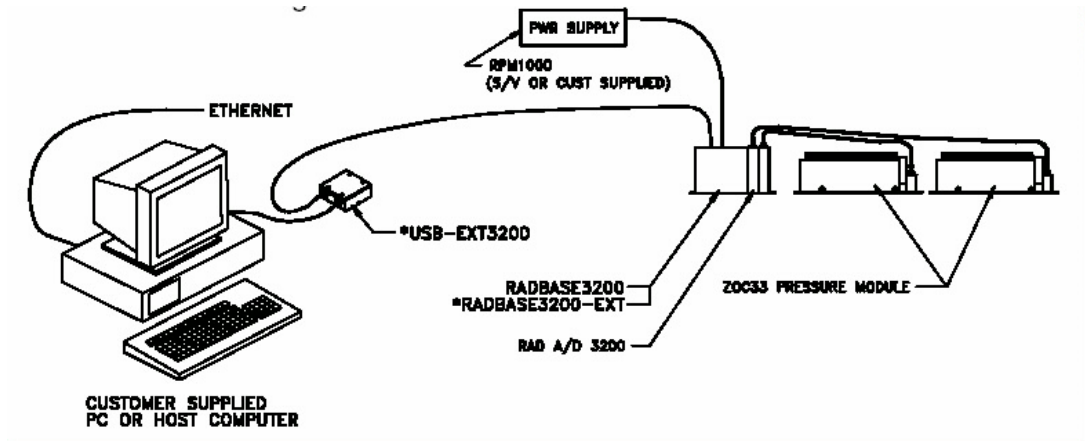


圖 3-3 壓力量測系統

### 3-2 試驗流程

本計畫之試驗流程是以依實際設計之建築物為模擬標的，透過風洞實驗，計算出該建築結構系統所受之平均風力、擾動風力以及外牆所受之局部風壓。

並可於風壓量測結束後，透過軟體，將結構物本身之受風狀態，包括外牆風壓隨時間變化情形，及結構物受風後各樓層位移隨時間變化情形，以動畫方式展現於電腦螢幕上，可使設計者在最短時間內瞭解風對結構物產生之實際影響。

本計畫之模擬標的為一位於三重市一棟 31 層之大樓，樓高為 107 公尺，大樓之立面圖，如圖 3-4 所示：



圖 3-4 模擬建築物平立面圖

本建築物資料由聯邦工程顧問公司所提供。

在試驗模型製作部分，先將建築物模型區分為數個元件，一般而言以一個面為一個元件，建築物模型以壓克力為材料，透過車床工具，將壓克力研磨出建築物各元件外型，再將各元件組合成建築物，最後並於壓克力上鑽風壓孔並接上風壓管。實際模型如圖 3-5 所示：

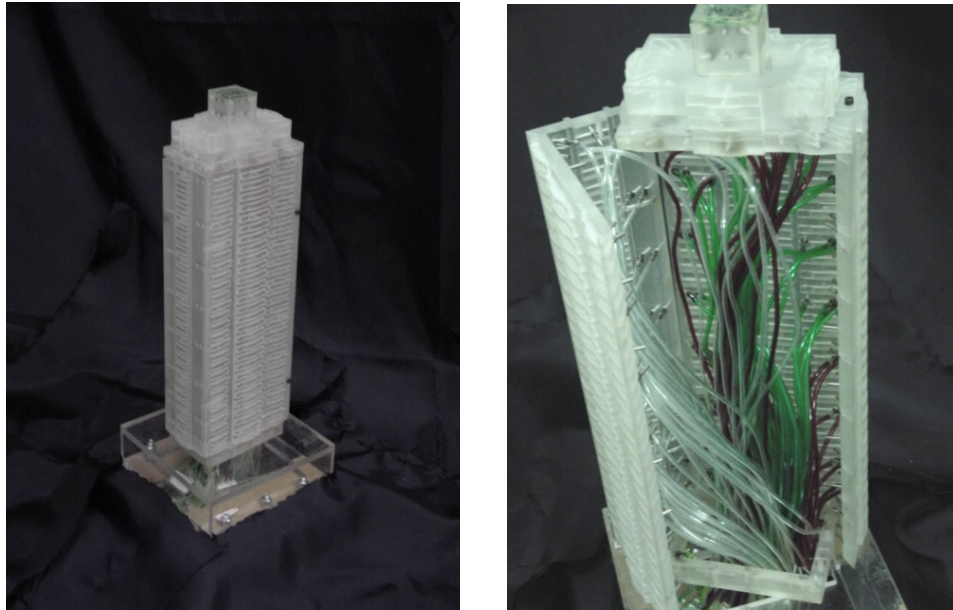


圖 3-5 模擬建築物模型實體圖

模型完成後，將模型安置於本中心第一號邊界層風洞中，並將風壓管連接至壓力感應器模組上，則可同步擷取所有壓力孔之瞬時壓力值。作為分析高層建築表面風壓、承載風力、結構反應等之基礎資料。

### 3-3 分析方法

試驗結果分析可分成三個部分，第一部份為建築物表面風壓、第二部份為建築物整體承載風力、第三部份為建築結構系統之反應（包括位移、加速度等），三部分分析方式及用途分別詳述如下。而其分析架構流程則如圖 3-6 所示。

#### 4. 建築物表面風壓

在建築物表面風壓部分，又有三種統計值需計算，分別為平均風壓，擾動風壓與極值風壓，其中平均風壓與擾動風壓，可供檢覈試驗結果是否合理，而極值風壓則作為建築物外牆設計之依據。

極值壓力之計算需採用統計學中極值分佈的理論。首先，對採樣時間內之所有取得之壓力值作判斷，取出所有無相關性之極大值作為分配樣本，

利用第一類極值分佈函數擬合出最適當之曲線後，而後由所定義  $n$  年回歸週期，計算該機率值，以此機率值可在擬合曲線上對應出相對壓力值。則稱此壓力值為  $n$  年回歸週期之最大壓力。

當計算出所有壓力點之平均風壓與極值風壓後可利用內差方式在建築物表面繪出等壓線圖，則可瞭解整棟建築物平均風壓與極值風壓之分佈狀況。

除此之外，本中心另發展一套程式可顯示建築物之瞬時風壓分佈及變化狀態。此程式是利用壓力量測系統取得分佈於建築物表面風壓孔的瞬時風壓值，將此有限點數的壓力值透過內差方式，計算出至整棟建築物表面之瞬時壓力分佈，並將瞬時壓力分佈透過繪圖程式庫，將壓力分佈狀況以彩色圖片顯示於螢幕上，每一瞬時計算並顯示一次，在時間間隔很小時則有動畫效果，由此動畫中可瞭解風所造成建築物表面壓力分佈隨時間變化情形。

#### 12. 建築物整體承載風力

結構分析以樑柱接頭定義為結點，風力歷時作用於結點上，依據前項量測所得之建築物表面風壓，將其積分後得到作用於結點上之風力歷時。結構受力面模擬實際結構受風狀況，順風向、背風向及側風向均同時受風力作用。

#### 13. 建築結構系統之歷時反應分析

現今的規範，對於建築物風力載重的行為僅以準靜力風壓或經驗公式來計算，然而，在不同地區，鄰近地物、地形及風向等，均會造成風力之隨機性及動態特性，其風力作用除須考慮靜力風壓外，其擾動性風力亦不可忽視。

目前結構物對於受風反應多採頻率域分析，在頻率域架構下結構物各桿件之最大反應如應力、變位及加速度等難以分析。對於高層建築而言，在強風吹襲下上述各種反應為不可忽視之一環，因此本計劃以時間域方式進行分析。

研究方式係以先製作結構物縮尺模型進行風洞試驗，收集風力歷時資料，再以有限元素分析軟體模擬結構物，將試驗所得之風力歷時資料代入進行時間域分析，如此可得結構物在整個歷時資料中之結構反應，根據該分析結果可求得結構物各桿件之最大反應如應力、變位及加速度等。

#### 14. 結構系統簡介

為一地上三十一層之鋼骨大樓，一樓樓高為 4.7m，二樓樓高為 4.0m，



三樓以上為標準層樓高 3.1m，三十及三十一樓樓高為 3.5m，樓層高度為 99.4m，含屋突總樓高 108m。結構為長方形規則平面，其面積 15m×30m，結構系統採用正交抗彎構架，樓版為一鋼筋混凝土結構，梁柱樓版考慮為水平剛性隔板，以剛性樓版模擬之。主要的梁柱系統，其斷面材料性質，參考如下所示：

- (1)鋼梁部份：為鋼構材結構，鋼梁的斷面性質分為八種形式。
- (2)鋼柱部份：為鋼構材結構，鋼柱的斷面性質分為八種形式。
- (3)樓版部份：為鋼筋混凝土結構。

本例題是採用有限元素 ABAQUS 程式做時間域分析，以動力方式模擬結構受擾動風力之時間歷時動態載重進行分析，以 3D Beam Element 模擬梁柱系統。柱底採剛接方式，所有結點設於梁柱接頭處，本例題經振態分析所得之前五個振態的自然頻率分別為 0.821 Hz、1.127 Hz、1.162 Hz、2.318 Hz、2.966 Hz。

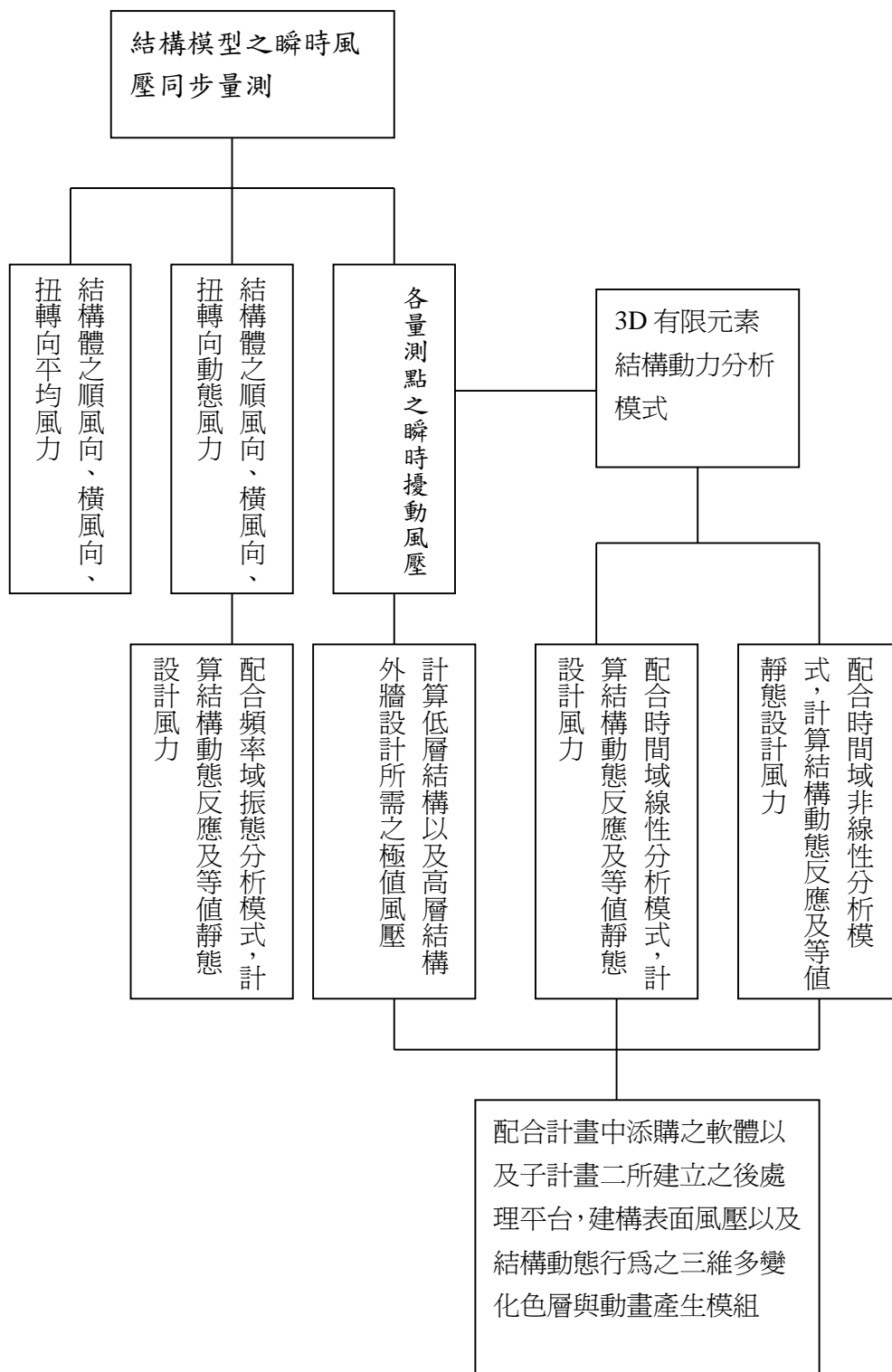


圖 3-6 多自由度結構風力動態分析架構流程圖

### 3-4 分析結果

#### 5. 建築物表面風壓

##### (b) 極值壓力分佈

透過極值理論計算之極值風壓分佈狀況，如圖 3-7 所示，由圖上可看出，於左上方邊角處為氣流流經建築物時之分離點，故該處負壓最大。

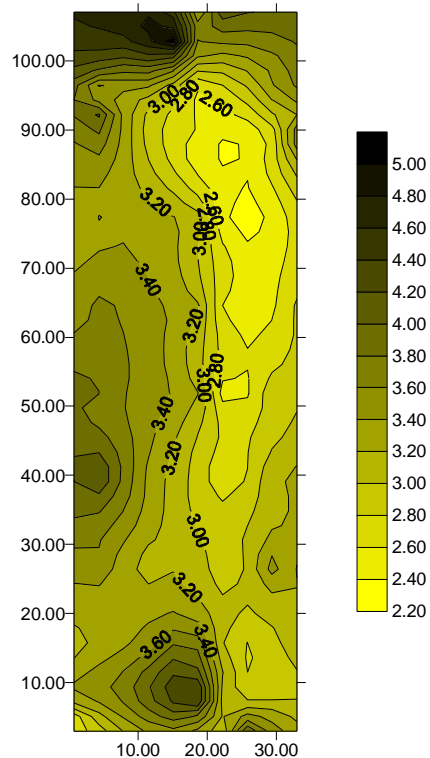


圖 3-7 極值風壓分佈圖

#### ix. 建築物表面風壓力歷時圖

如前所述，我們可計算出至整棟建築物表面之瞬時壓力分佈，並將瞬時壓力分佈透過繪圖程式庫，將壓力分佈狀況以彩色圖片顯示於螢幕上，圖 3-8 為擷取部分建築物之側風面壓力變化過程之圖形，顏色越深代表負壓越大，由圖可看出流體通過建築物時在建築物前緣分離，所形成之分離剪力層作用於建築物之側風面，而產生昇力(lift force)之過程。

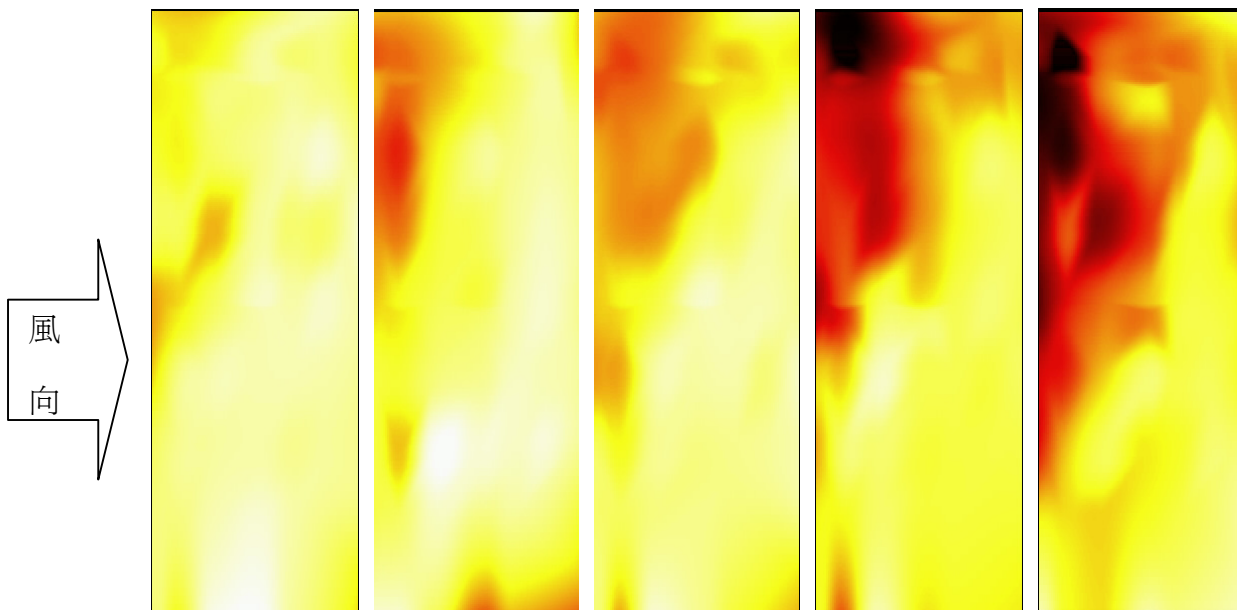


圖 3-8 建築物表面風壓分佈歷時圖

#### 15. 建築物質心變位歷時圖

以整棟建築物表面量測所得之歷時壓力分佈，並將歷時壓力分佈轉換為結點載重後，可得結構之時間歷時反應，如下圖 3-9、圖 3-10 所示。

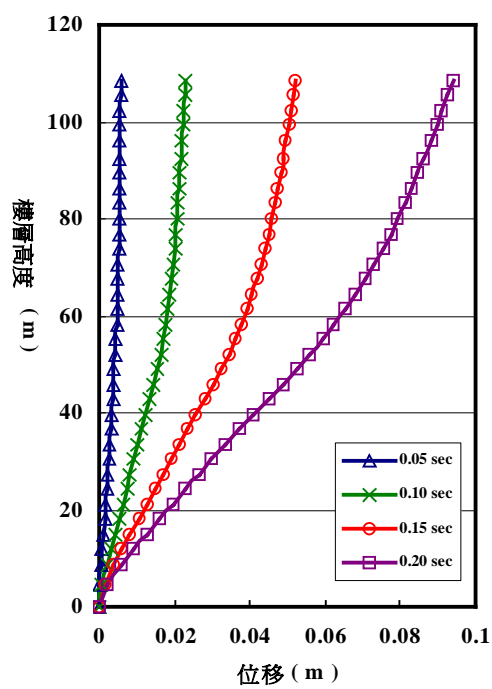


圖 3-9 順風向變位歷時圖

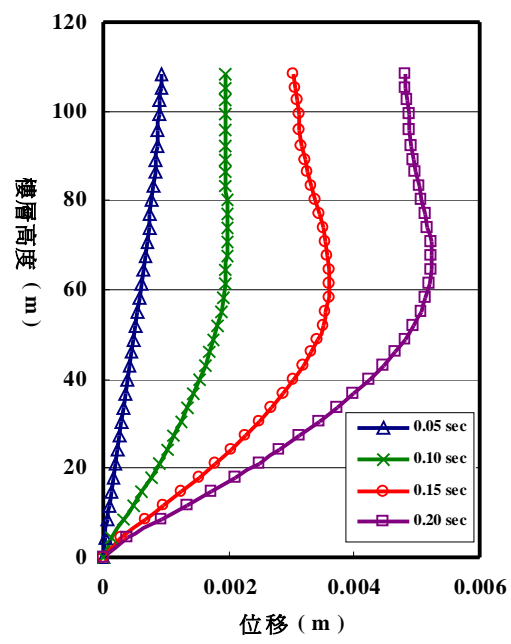


圖 3-10 側風向變位歷時圖

## 第四章 流場量測與紊流結構識別技術研究

### 4-1 計劃概述

流場量測與紊流結構的識別為探討鈍體氣動力行爲起源及流場作用方式的重要技術，在結構物之風洞實驗中，利用壓力量測的技術可以精確的掌握到結構物受流場作用下，所受到的各項風力特性，進而提供結構分析與設計上有關受風力作用評估的重要依據。

結構體所受之氣動力作用來自流場中某項紊流結構的特性，而結構體自身亦對流場產生一定程度的影響，進而產生如側邊分離剪力流、尾流等流場行爲，要了解流場與結構體兩者間的作用特性，必須對流場之紊流結構有深入的探討，此方面的研究及量測技術亦成為風洞實驗室中關於流場研究與驗證的重要技術指標。

有關流場特性的量測可由定性及定量兩大部分加以探討。定性的流場量測探討結構體周邊流場生成與演變的趨勢，尋求其表現出來的特徵。定量流場量測則著重在數量化的流場量測結果，對於紊流場中不同特徵結構的生成及分布有進一步的了解。

風洞中流場可視化技術可以區分成兩類。

第一類為：示蹤方法是利用在流場中添加物質，如有色液體、煙、絲線和固體粒子等，通過照相或是肉眼觀察添加物隨流體運動的圖形。常用的六種方法如下：

6. 絲線法：將絲線、羊毛等纖維黏貼在要觀察的模型表面或是模型後的網格上，由絲線的運動可以判別氣流的方向和分離區的位置及空間渦漩的位置。
16. 煙流法：利用機油為燃料並將發煙熱絲(smoke wire)通電加熱後產生煙流，當氣體通過模型所產生煙流流動狀況，已成為風洞實驗室觀測流場的重要工具之一。由於雷射技術的進步，使用雷射切光產生光屏，以觀察柱體模型週遭煙流流動變化情形，成為定性分析上成熟的重要工具。本實驗利用煙流經過方柱時尾跡所產生的變化。
17. 油流法：在黏性的油中摻進適量指示劑(如炭黑)並滴入油酸，配製成糊狀液態物，均勻地塗在模型形表面。實驗時通過指示劑顆粒沿流向形成的紋理結構，顯示出在模型表面流動的圖形。
18. 昇華法：將揮發性液體或容易昇華的固體噴塗在模型表面，依據塗料從模型上散失的速度與邊界層狀態有關。

19. 蒸氣屏法：在風洞中形成過飽和的蒸氣，在需要的觀察的截面，垂直氣流方向射入一道平行光，氣流經過光面時，由於離心力的作用，渦漩內外蒸汽含量不相同，光的折射率因此不同，便能顯示出渦漩的位置。
20. 液晶顯示：利用液晶顏色會隨著溫度變化來判別層流，湍流邊界層和激波。溫度低時為無色透明，溫度升高便以紅、黃、綠、藍的順序改變。

第二類：光學法是根據光束在氣體中的折射率隨氣流密度不同而改變的原理製造出來。優點為：不在流場中添加其它物質，不會干擾氣體流動，而且可以在短時間內採集大量的空間數據，它是一種直接顯示方法，特別適合觀察可壓縮流動和非定常流動，例如：激波、尾流和邊界層過渡等。

80 年代，利用總壓力探管在量測流場區域掃描，並將感受的壓力轉換成電壓值。由於計算機的發達可將實驗一次大量的數據擷取下來，顯示顏色高達 4096 種，對於特別有興趣的區域可以放大和增加顏色詳細顯示；以不同角度觀察的流場並且旋轉顯示的數據平面。

## 4-2 採購儀器與設備

在第一年計畫裡：採購有 6W 功率之雷射(品名：Spectra-Physics)光源，並搭配合適的平凹片圓柱形的透鏡形成較大扇型的面積且亮度更高的切光光屏。由於此雷射搭配光纖導線，可以將雷射光直接導入風洞中，並且可隨時移動切光光屏的位置，將可以應用於不同實驗的光源。其主要的規格如下：

內 容 項 目	特 性	規格與功能	備註
品牌		Spectra-Physics (Model 2016-05s)	
波長		457.9~514.5 nm	
瓦數		最大輸出功率 5W、Ar 離子雷射	
雷射主體		110.6×17.8×14.6 cm 43 kg	
能源控制箱		51.1×42.5×15.5 cm 36 kg	
稜鏡聚焦		稜鏡聚焦可以微調上下、左右的方向	
光纖導線		2.5 公尺，方便移動、觀察渦漩的尾跡	

利用本實驗室已有的發煙器設備於上游製造煙霧，藉以觀測鈍體周邊流場的變化。同時為使實驗的成果能以最佳效果紀錄下來，採購之高速 CCD 攝影機〔每秒 1000 張〕，並配合全新的電腦設備進行影像擷取與影像軟體編輯，高速 CCD 攝影機規格如下：

**FASTCAM Super 10k 高速攝影機：**

內容 項目	特性	規格與功能	備註
影像色彩		黑白	
片速		30、60、125、250、500、1000 畫面	每一秒
解析度		全幅影像顯示時解析度可達 512×480 pixel(在每秒 30、60、125、250 畫面時) 當解析度為 256×320 pixel(每秒 500、1000 畫面時)	
記錄及儲存影像的方式		記憶體於全幅時(512×480 pixels)可記錄 546 幅	
記錄觸發		Start(開始)觸發、Center(中間)觸發、End(末端)觸發、Random(間隔)觸發	
相機尺寸		51×114×51 mm 0.8 kg	
鏡頭接口		相機為 C-Mount 接口	
高速攝影光學鏡頭		Zoom Lens 12.5-75mm，F1.8	
主機訊號輸出		NTSC 輸出：主機有 RS-170 及 AV 等 2 個端子輸出。  數位輸出：主機上有標準 SCSI 接口，接 PC 或 Notebook，將影向下載至 PC 或 Notebook	
腳架		190D USA 3001N-3001BN	
三向雲檯		141RC-USA 3030	
SCSI		Ultra SCSI DC-315U	
Video 介面卡		亞邁 V-Gear My-VCD PCI	



爲了保護眼睛免於高功率雷射的傷害，採購三個雷射專用護目鏡；在雷射使用中，將黃色閃爍燈打開，以提醒周邊人員必須注意並且張貼危險告示通知，以達到預警的效果產生。雷射發出的光源必須與稜鏡聚焦達到完全水平的狀態之下，所以特製光學平板儀以減少雷射光輸出的損失量。

爲了有效控制光頁折射角度與寬度，所以選用平凹圓柱型的透鏡〔折射角約 30 度左右，寬度約 1- 2mm〕。鏡片固定方式：利用直徑 1.6 公分、高度 3 公分中空的鐵管，兩旁分別焊接長 3 公分、寬 0.5 公分、厚度 0.1 公分的鐵條。鏡片便可以固定於兩旁的鐵條，並且將中空的鐵管套入於光纖導線的出口。

內 容 特 性 項 目	規格與功能	備註
雷射護目鏡	Argon Laser Goggle Optical Density: 6@442 nm to 515nm	
光學鏡片	Plano-Concave Cylindrical Lenses :CKV513-C	
光學平版	長 140 公分 × 寬 35 公分 × 高 1 公分	
電腦主機	P4 CPU2.0G，256DDR，80G 硬碟	
固定光學鏡片	直徑 1.6 公分，兩邊焊接鐵片（長 3 公分、寬 0.5 公分、厚度 0.1 公分）	

### 4-3 實驗操作流程

7. 發煙器：將發煙器至於風洞的上游。原廠公司調配而成的「中性」化學溶劑，經由機器高溫加熱，便可以產生煙霧的氣體。可控制煙霧噴出量的大小，如圖 4-1 中的第①部份
21. 方柱尺寸：長 183 公分、寬 4 公分、高 4 公分。放至於離風洞底部約 60 公分；如圖 4-1 中的第②部份。
22. 雷射照射：
  - (c) 雷射經由稜鏡聚焦後，經由光纖導線導出雷射光，光纖導出的雷射光須經過稜鏡聚光變成點光源。光纖導線的出口經功率器實際量測的結果：雷射打出的雷射光功率約 3W，最後經過稜鏡聚光變成點

光源功率約 1.5W。

- x. 經由稜鏡聚光變成點光源，將固定光學鏡片的中空鐵環直接套於筆狀稜鏡聚光出口端。
  - xi. 將光學鏡片放置於固定夾中。光纖導線導入風洞，固定於風洞天花板上，雷射光經由光學鏡片變會產生散射角約 30 度的光頁，以方便高速攝影機擷取煙流產生的現象。如圖 4-1 中的第③部份。
23. 黑色木板：為了減少風洞四周光線的影響，在煙流的背面鋪上黑色木板，可以減少光線的干擾。
24. 流場觀測系統：
- (d) 將光學鏡頭接上相機，放置於三向雲臺，並且調整腳架
    - xii. 至適當的高度。如圖 4-1 中的第④部份。
    - xiii. 調整光圈、焦距於最佳狀況。
    - xiv. 設定 FASTCAM Super：每秒 250 幅，全幅影像解析度解析度  $512 \times 480$  pixel，可擷取 2 秒，所以一次可擷取 500 幅。
    - xv. 將擷取的圖片利用電腦 image download utility 軟體，設定儲存的資料並透過 SCSI 介面卡傳輸至硬碟中。如圖 4-1 中的第⑤部份。
    - xvi. 經由影像編輯軟體修飾並製作動畫。
25. 改變風洞轉動速度：分別對風洞轉速為：100、150、200、250、300、400rpm 進行拍照。

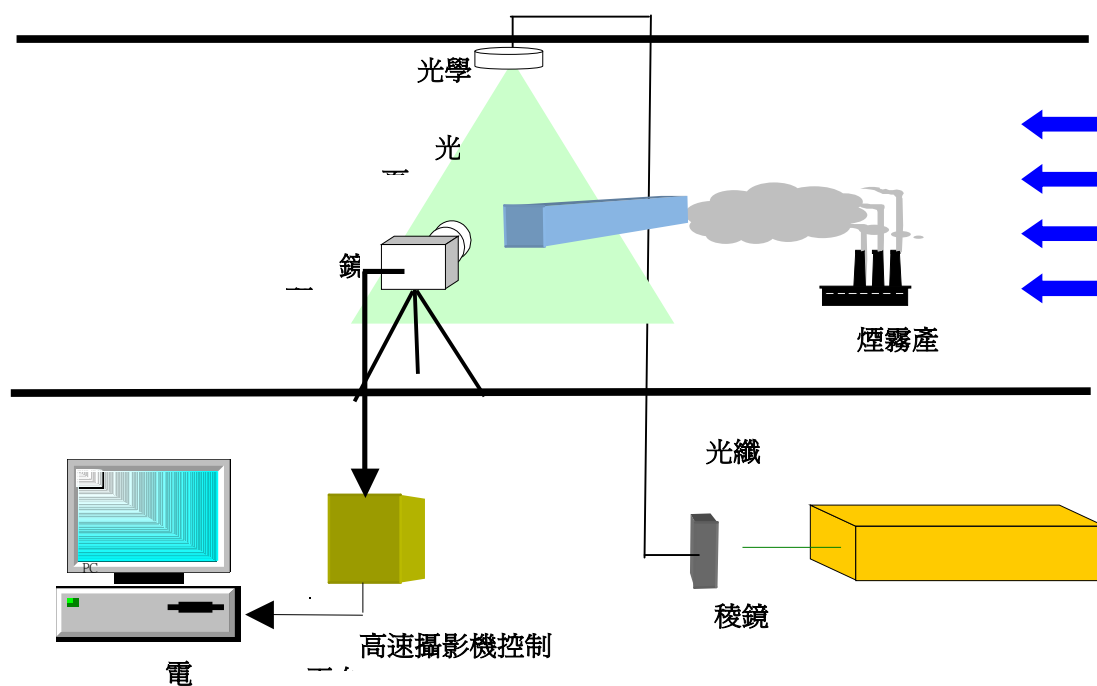


圖 4-1 實驗架設示意圖

## 4-4 煙流可視化

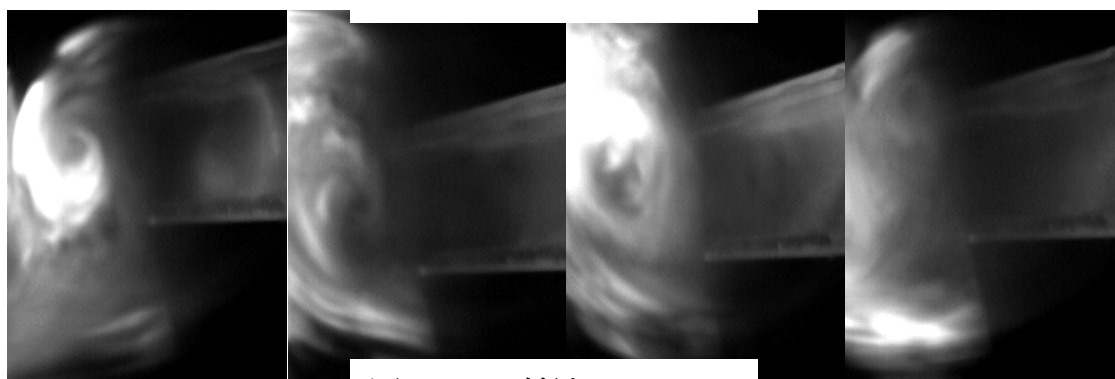
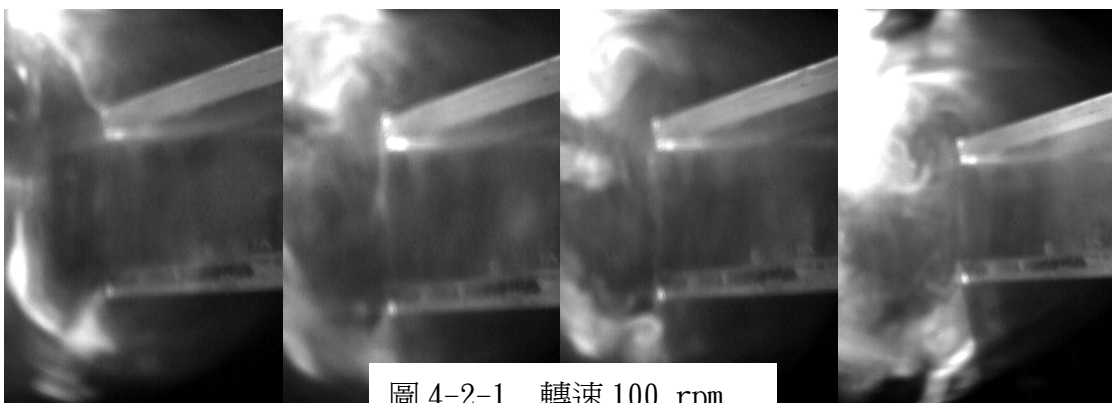
### 8. 矩柱兩側、背面煙流可視化

在實驗過程中，煙霧產生器的煙量固定、雷射固定在 4W、高速攝影機的鏡頭與擷取頻率每秒 250 張設定值也相同；唯一改變的值為風洞的轉速，在不同轉速之下渦漩會產生不同的變化。

當流體流經矩形柱時，受到黏滯力、表面粗糙度等影響，在矩柱表面上形成邊界層。對於具有銳緣之矩柱，由於表面曲率在此銳緣上是一不連續點，便會產生氣流之分離的現象發生。如圖 4-2-1、4-2-2 中，當煙流通過矩柱時，便會產生煙流分離的現象，而分離的剪力層會在矩柱後之尾跡中行成渦漩。

在根據相關的文獻中，當高寬（B/D）比大於 0.6 時可能發生再接接觸現象發生。在下圖 4-2-1 中，可以清楚看到煙流在矩柱兩側的末端與背面產生在接觸的現象發生；在下圖 4-2-2 中，在矩柱兩側較難發現煙流再接觸現象發生，但是矩柱背後會產生較明顯而且較大的渦漩產生。

本次實驗在轉速 250 轉時，雷諾數約 330。使得當風速轉速增加時，會造成雷諾數的增加，使得煙流在矩柱兩側再接觸較難觀察得到，而且當轉速從 100（圖 4-2-3）到 250（圖 4-2-8）增加時，渦散對於矩柱背面產生拍擊的現象仍然相當明顯，但當轉速從 300 轉（圖 4-2-11）至 400 轉（圖 4-2-14）時，渦散渦散對於矩柱背面產生拍擊的現象變得較小了，而且渦漩會漸漸地遠離矩柱的背面的。



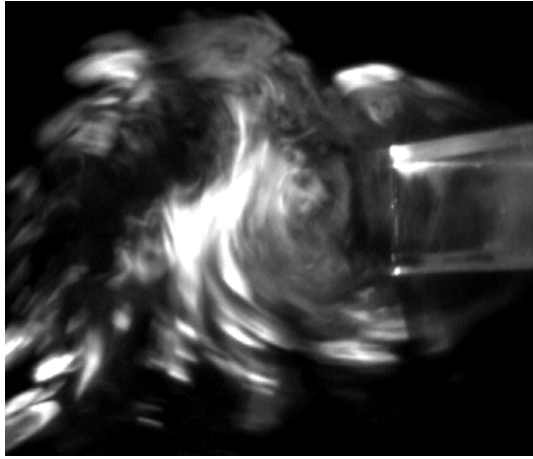


圖 4-2-3 轉速 100 rpm

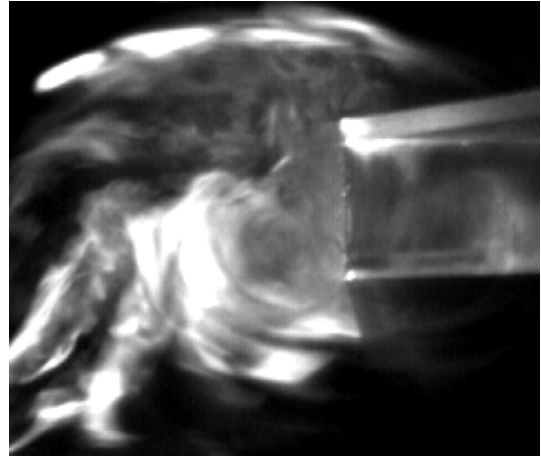


圖 4-2-4 轉速 100 rpm

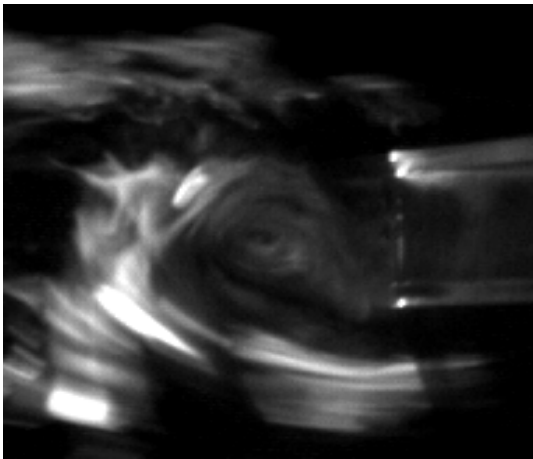


圖 4-2-5 轉速 150 rpm

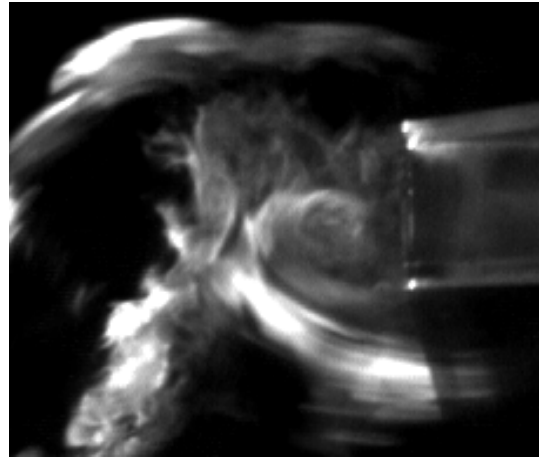


圖 4-2-6 轉速 150 rpm

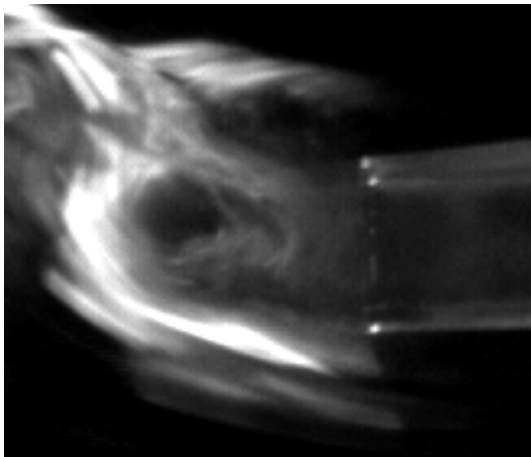


圖 4-2-7 轉速 200 rpm

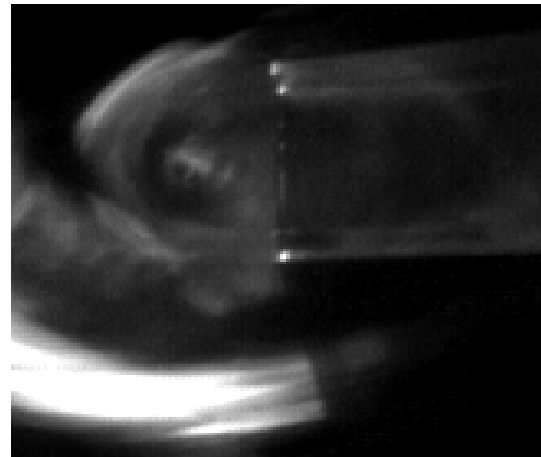


圖 4-2-8 轉速 200 rpm

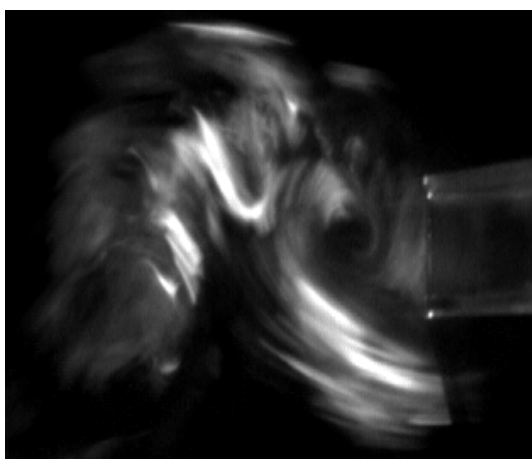


圖 4-2-9 轉速 250 rpm



圖 4-2-10 轉速 250 rpm



圖 4-2-11 轉速 300 rpm



圖 4-2-12 轉速 300 rpm

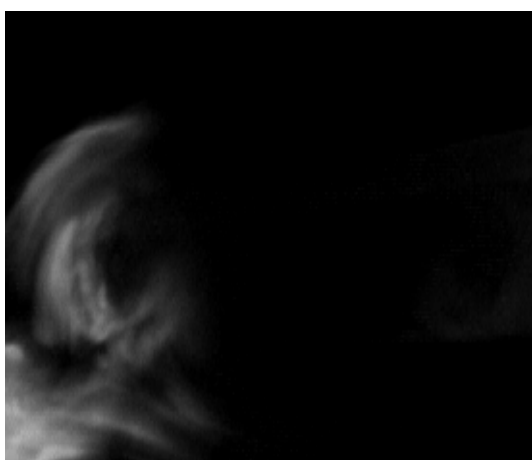


圖 4-2-13 轉速 400 rpm

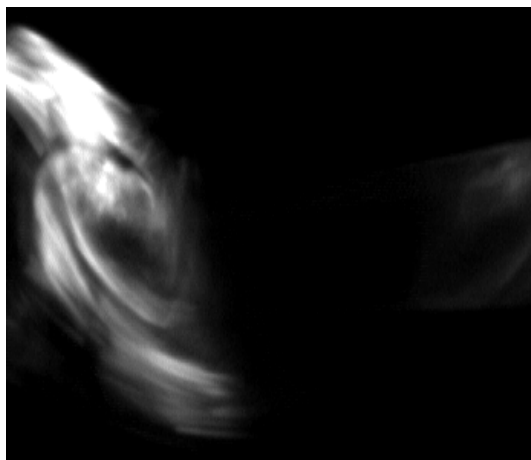


圖 4-2-14 轉速 400 rpm

## 26. 煙流通過矩柱後，尾流的變化

與上面實驗過程相同，將改變雷射光頁的位置，並且調整高速攝影機鏡頭能拍下最大的畫面。流體流經鈍體後產生分離，而分離出之渦漩所行走的軌跡稱之為尾跡。

當風速從 100 轉（圖 4-3-1）至 150（圖 4-3-4）轉時，煙流尾跡可以看見 3 個渦漩，由於 100 轉速較慢，使得煙流尾跡所產生的渦漩與 150 轉速時較為不清楚。

當風速從 200 轉（圖 4-3-5）至 300（圖 4-3-10）轉時，煙流尾跡可以看見主要的渦漩為 2 個。在圖中可以看出渦漩的個數並沒有明顯的增加，但當轉速增加時，第二渦漩較不容易變大而且散開。總之：當轉速增加至 250 轉時，尾跡的渦漩週期性變化較為穩定，但若轉速 400 轉以上時可能因煙霧器或是高速攝影機因素無法擷取較佳圖片。

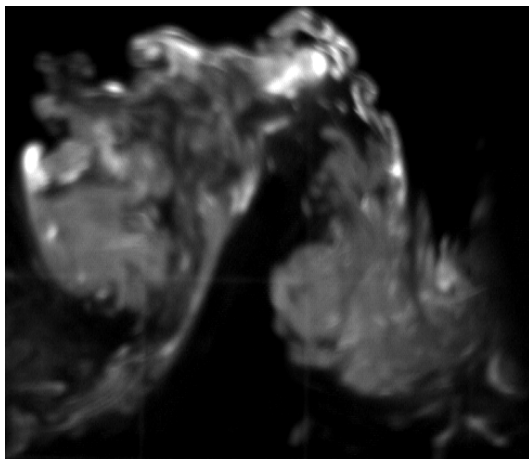


圖 4-3-1 轉速 100 rpm

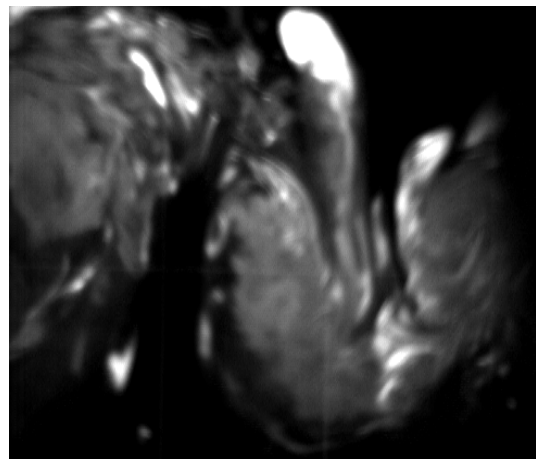


圖 4-3-2 轉速 100 rpm

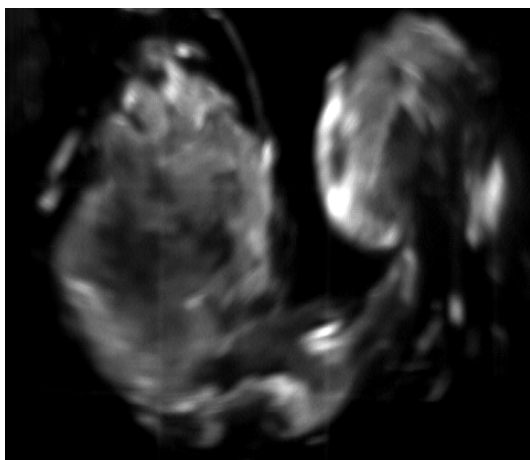


圖 4-3-3 轉速 150 rpm

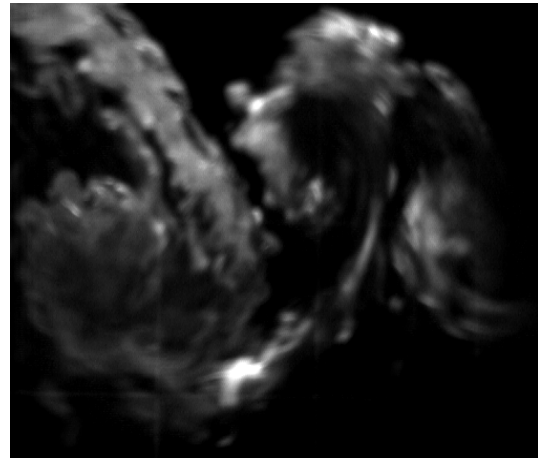


圖 4-3-4 轉速 150rpm

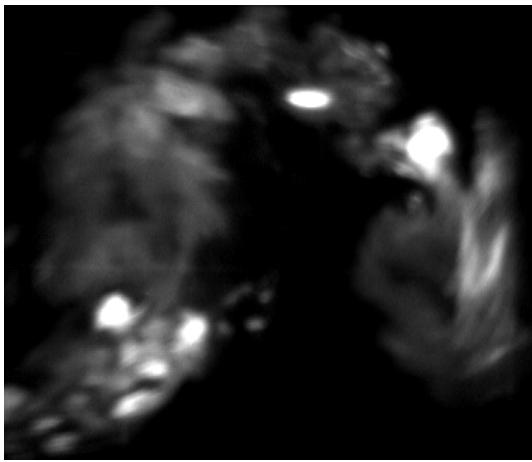


圖 4-3-5 轉速 200 rpm

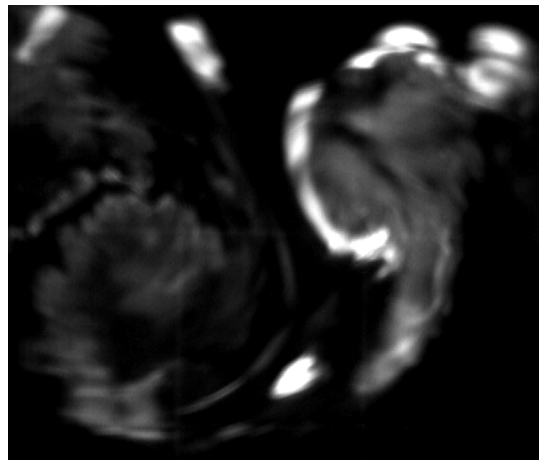


圖 4-3-6 轉速 200 rpm

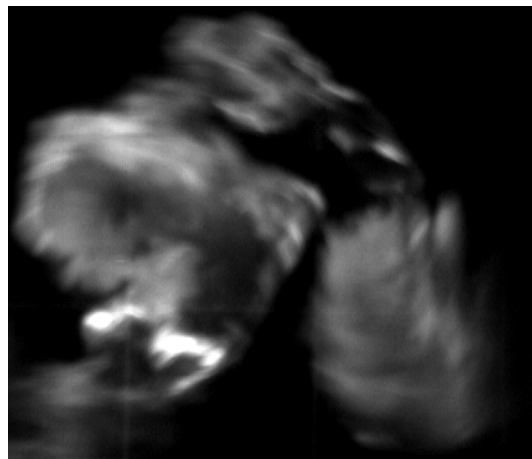


圖 4-3-7 轉速 250 rpm

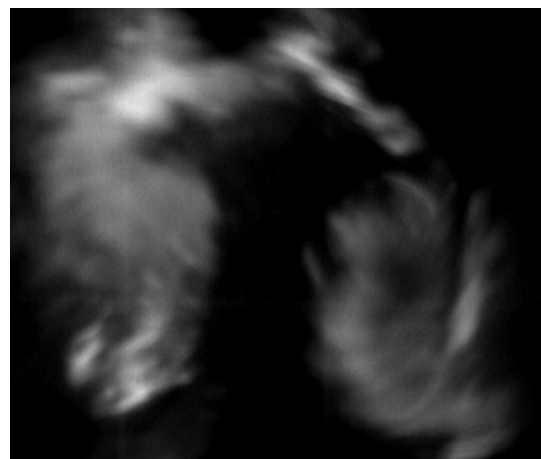


圖 4-3-8 轉速 250 rpm

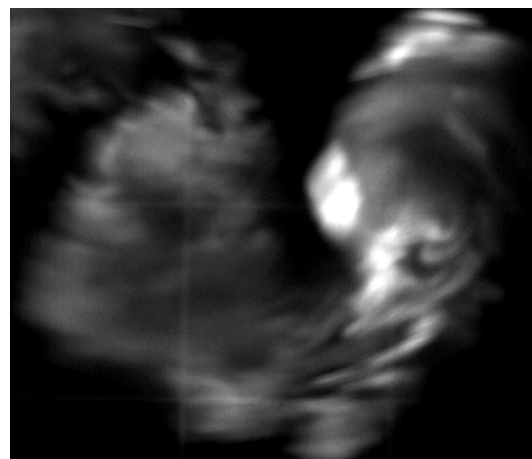


圖 4-3-9 轉速 300 rpm



圖 4-3-10 轉速 300 rpm

## 第五章 風工程計算平台之建構

### 5-1 計畫概述

風對結構物的作用是複雜的空氣動力學問題。過去在工程設計上對於結構物抗風設計還不如對抗震設計般的受到重視，其中一個原因是對於中低高度的結構物而言，風的作用在工程設計上並不十分具有影響。伴隨著高聳結構物與長跨距橋梁的出現，抗風設計就顯得非常重要。對於不同形式的各種結構物及橋梁而言，風對結構物及橋梁的某些局部作用也應而受到普遍的重視。我國為海島地形，常容易受到颱風的侵襲，風災問題也應而逐漸被重視。在下表中將說明，空氣動力作用的種類，結構物相對反應的物理現象以及結構物的損害類型。

表 5・1 風對結構物的作用

空氣動力作用的種類	結構物相對反應的物理現象	結構物的損害類型
(1)時間平均的空氣動力作用	靜力風壓引起的變形，應力，應變位移	整體變形、破壞、局部變形損傷
(2)紊流產生的瞬時空氣動力作用	隨機振動(抖振)	局部變形損傷、功能障礙造成使用者不舒適、不安全感
(3)結構物尾流中發生的渦流產生的瞬時空氣動力作用	特定風速範圍內發生的周期性有限振幅振動，自然頻率共振	局部變形、損傷、疲勞、功能障礙造成使用者不舒適、不安全感
(4)由結構振動反饋的瞬時空氣動力作用	超過臨界風速時負阻尼產生的發散自然頻率共振	破壞、破損

### 5-2 軟硬體建置

為達成強化本校「大氣環境暨風力工程研究中心」以計算流體力學為基礎的研究能量工作目標，本計畫第一年已完成「風工程計算平台」之建構，風工程模擬系統包括了硬體計算環境建製與計算軟體系統安裝兩大部分，各項執行進度分別如下：

#### 9. 目前在硬體建製部分已完成，其內容包括：

三部計算平台主機建製，分別為兩部 Intel P4 2.53G 計算平台作為前處理網格產生系統與計算流體力學系統，一部 AMD K7 XP1800 計算平台



作為後處理可視化分析系統使用(詳細規格如下)。

(a)Intel P4 2.53G 計算平台：

組件名稱	廠牌型號	備註
中央處理器	Inter Pentium 4 2.53G	
主機板	GA-8STL	
記憶體	Apacer DDR 333 512MB x2	1GB
顯示卡	Gainwin 220T	Gforce 3 TI 64MB
網路卡	RTL-8193d	
硬碟	Seagate ST380021A	80G 7200 rpm
燒錄機	LITE-ON 40X	
軟碟機	MITSUMI 1.44	
顯示器	Viewsonic P90f	
滑鼠鍵盤	IBM	
電源供應器	偉訓 300 W	
不斷電系統	台達 LC-500	500VA
作業系統 OS	Red Hat Linux 7.3	

(b).AMD AMD K7 XP1800 計算平台：

組件名稱	廠牌型號	備註
中央處理器	AMD Athon XP 1800+	
主機板	MS-KT3 Ultra2-c	
記憶體	Apacer DDR 333 512MB x2	1GB
顯示卡	Gainwin 220T	Gforce3 TI 64MB
網路卡	RTL-8193d	
硬碟	Seagate ST380021A	80G 7200 rpm
燒錄機	LITE-ON 40X	
軟碟機	MITSUMI 1.44	
顯示器	Viewsonic P90f	
滑鼠鍵盤	IBM	
電源供應器	偉訓 300 W	
不斷電系統	台達 LC-500	500VA
作業系統	Windows XP Professional	

上述三部個人計算平台主機已於 91 年 10 月完成採購程序，並分別安裝 LINUX Redhat 7.3 與 MicroSoft WINDOWS XP 作業系統。目前放置地點為風工程中心 212 研究室。

27. 軟體建置內容包括：

- xvii. 前處理網格產生系統：泛用型網格建立系統 ICEM-CFD 軟體，
- xviii. 計算流體力學系統：泛用型熱流分析 Star-CD 軟體，ICEM-CFD 及 Star-CD 軟體已於 91 年 11 月完成採購程序，並安裝完成及軟體測試與教育訓練工作。
- xix. 後處理流場可視化軟體系統：泛用型流場可視化 Tecplot 軟體，已於 92 年 1 月完成採購程序，並安裝完成及軟體測試與教育訓練工作。

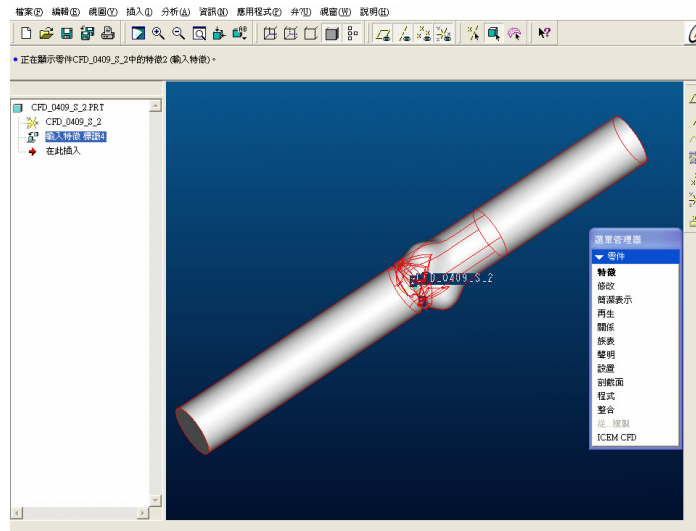
軟體名稱	版本	備註
Star-CD 泛用型計算流體軟體	V3.150	Intel P4 2.53G 計算平台
ICEM-CFD 泛用型網格建立系統	V4.2.2	Intel P4 2.53G 計算平台
Tecplot 泛用型流場可視化軟體	V9.2	AMD K7 XP1800 繪圖平台

### 5-3 風工程模擬系統軟體之測試與實際應用

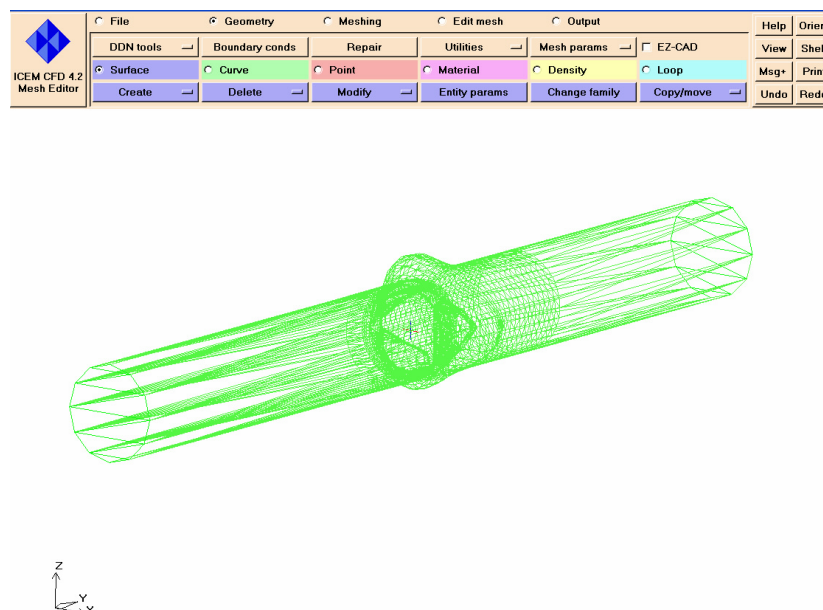
10. ICEM-CFD 泛用型網格建立系統之測試：

- (e) 三葉瓣人工心臟瓣膜網格產生測試程序，使用 ICEM-CFD 之步驟如下：

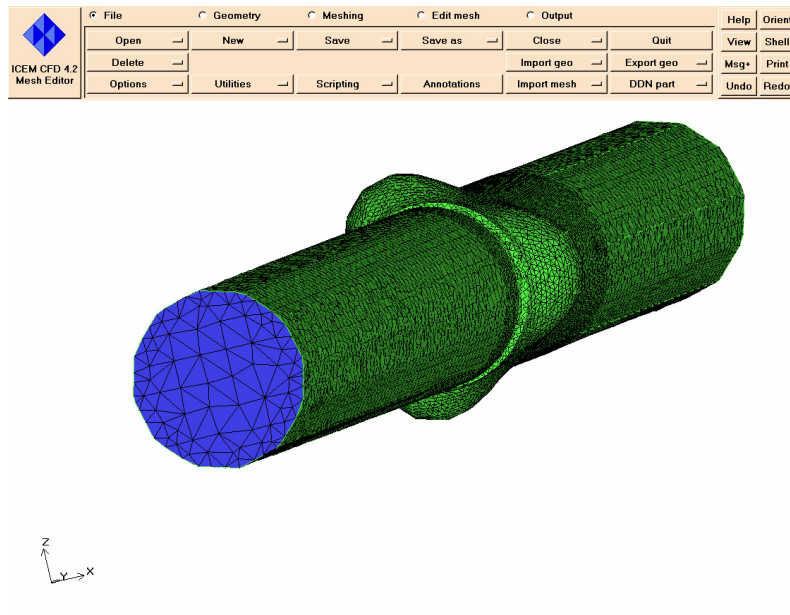
- 1. 使用 CAD 軟體 Pro-Engineer 系統建立模型三維幾何外型：



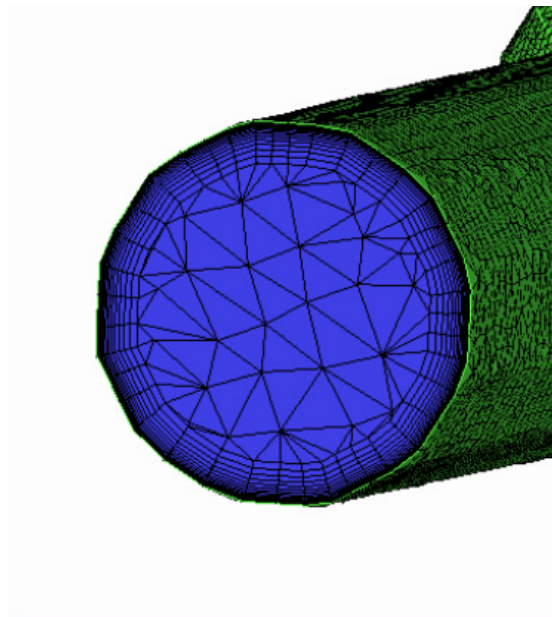
2. 將 Pro-Engineer 之 CAD 模型轉換成為 ICEM-CFD 泛用型網格  
建立系統可讀取之 TIN 檔案格式：



3. 使用 ICEM-CFD 泛用型網格建立系統中之網格參數 (MESH PARAM) 定義網格大小與性質；再使用 TETRA 網格產生器，以網格自動產生方式生成所需要的基本網格。

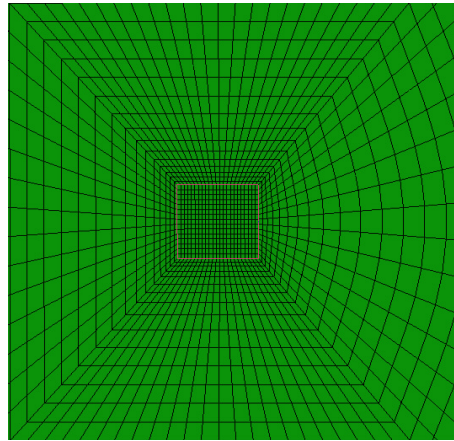
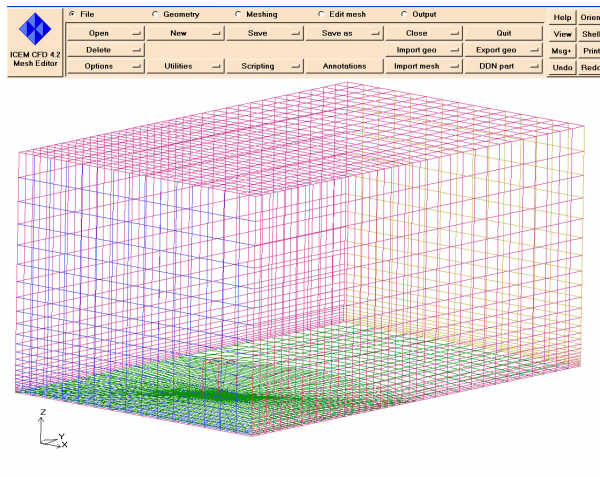


4. 利用基本網格分佈進行必要的檢查與修補程序：修改網格品質再進行局部加密或修補之動作（例如：鄰近壁表面處等）。



xx. 三維鈍體計算流場之網格產生程序：

使用 ICEM-CFD 泛用型網格建立系統之 Hexa 之網格生成模組功能，產生是符合幾何外型的數個正交計算區塊，再進一步生成所需要的基本網格分佈。

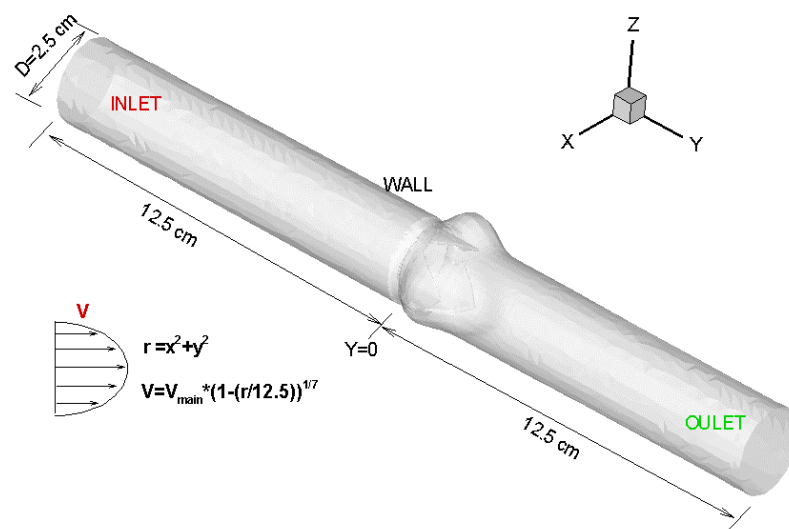


## 28. Star-CD 泛用型計算流體軟體之測試與實際應用

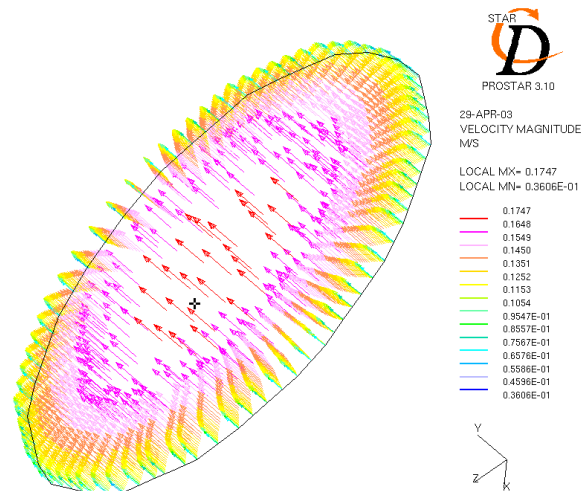
### (f) 三葉瓣人工心臟瓣膜之數值模型計算程序：

在三葉瓣人工心臟瓣膜其瓣膜前後各分佈加 10D 之延伸管道（其中 D 為管道直徑， $D=2.5\text{cm}$ ），入流邊界位於  $y=-12.5\text{cm}$  平面處，出流邊界位於  $y=12.5\text{cm}$  平面處，計算介質為：水。邊界條件設定：入流邊界：使用 1/7 power law 的管道邊界層入口邊界，壁面邊界採用壁函數紊流模式，主流速為  $V_{\text{mean}}=0.25\text{ m/s}$ 。

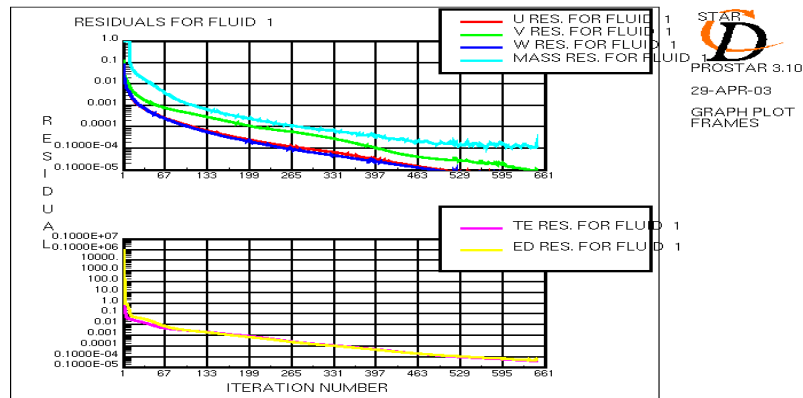
#### 1. 計算域模型：



## 2. 入流速度分佈圖：



## 3. 計算過程收斂圖：

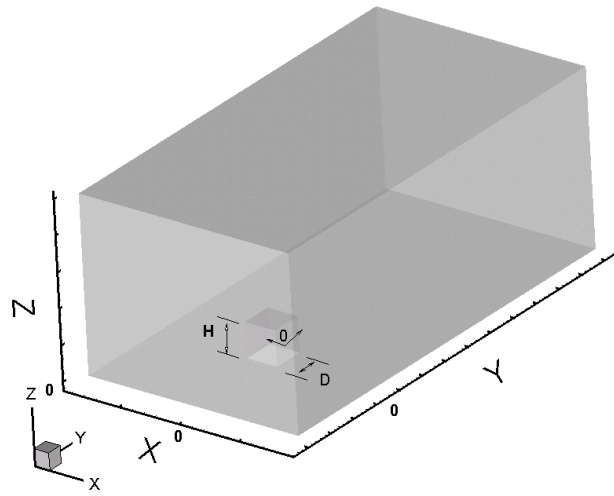


### xxi. 三維鈍體計算流場之計算程序：

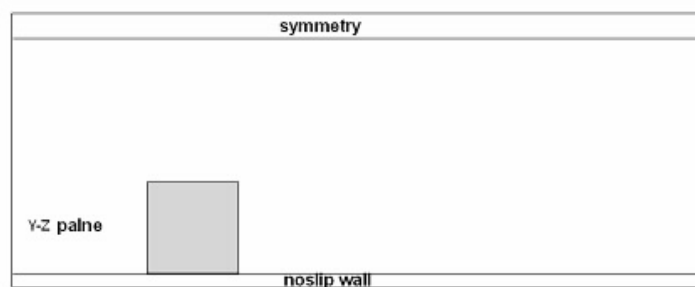
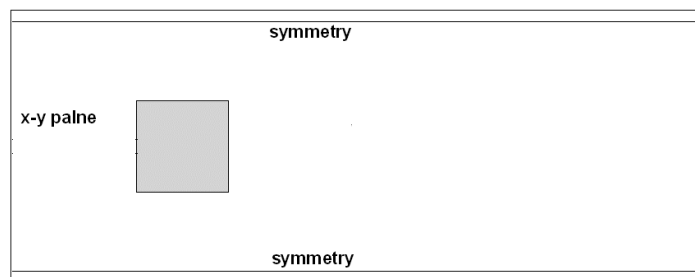
流場中放置一方柱寬為  $D$ 、高為  $H$ （其中  $H/D=1.446$ ），入流位置為  $y=-3D$ ，出流位置為  $y=10D$ ，兩側對稱邊界位置為  $x=\pm 6.5D$ 。在方柱周圍及近壁面部分網格局部加密，網格數為 58000。紊流模式分別採用  $k-\epsilon$  high Re、CUBIC high Re、Quadratic high Re 及 RNG 模式。計算流體使用室溫常壓之空氣，密度為  $1.205 \text{ kg/m}^3$ ，

黏滯係數為  $1.81 \times 10^{-5}$ ，使用 1% 之入流紊流強度及 0.05 長度尺度，收斂條件設定為  $10^{-7}$ 。邊界條件設定，入流速度剖面採用實驗數據所得之速度曲線，即邊界層流場為  $U = e^{(0.2157154678 \cdot 54 \cdot \log(y) + 2.0978541865 \cdot 2)}$ 。

### 1. 計算域模型：

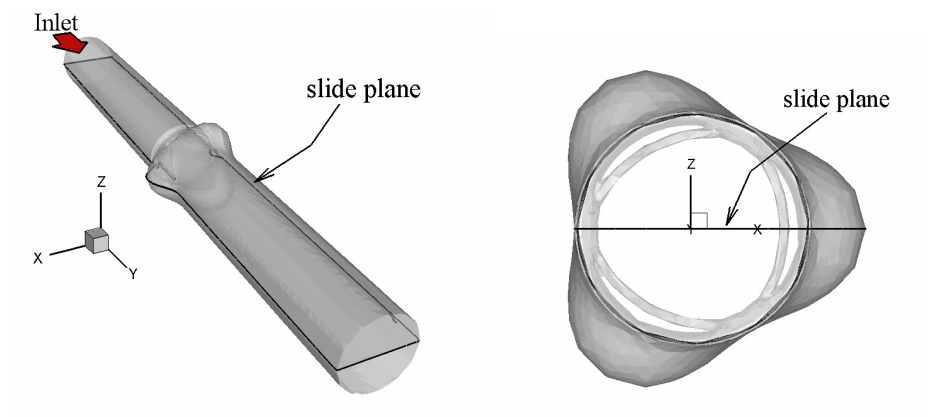


2. 邊界條件：

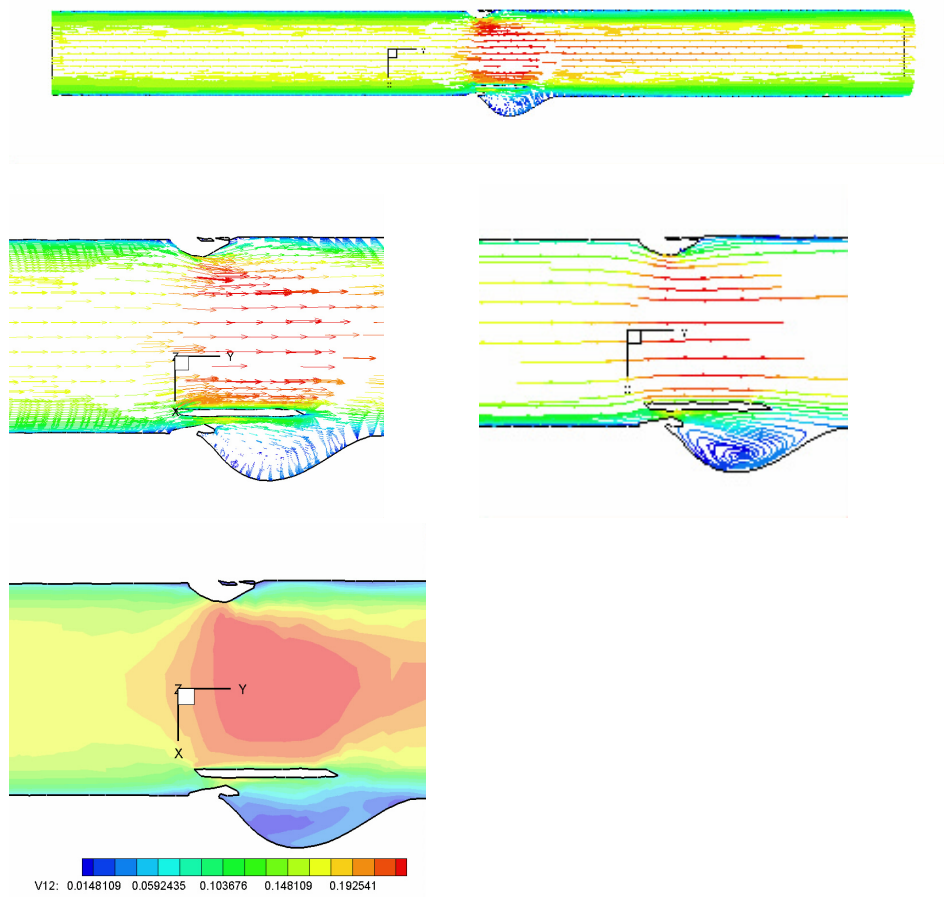


29. Tecplot 泛用型流場可視化軟體之測試與應用：

(g) 三葉瓣人工心臟瓣膜之數值模型後處理程序：

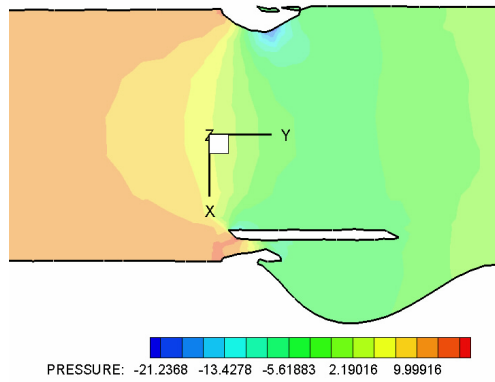


### 3. 速度場分佈圖：

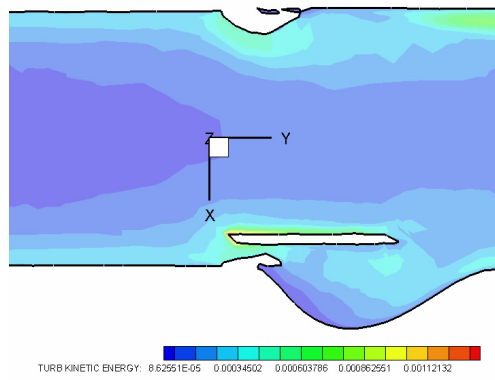


### 4. 壓力分佈圖：

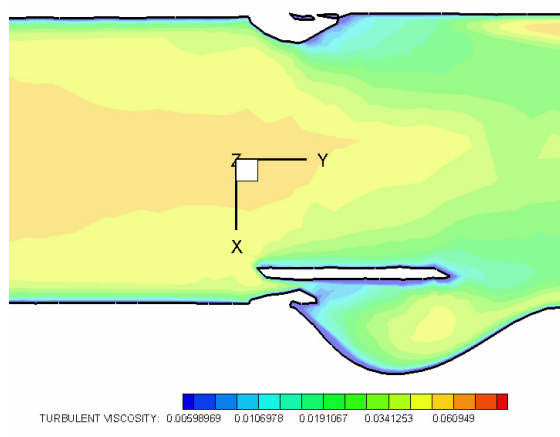




5. 紊流 kinetic energy 分佈圖：

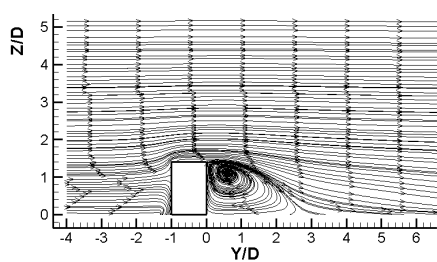


6. 紊流黏滯係數分佈圖：

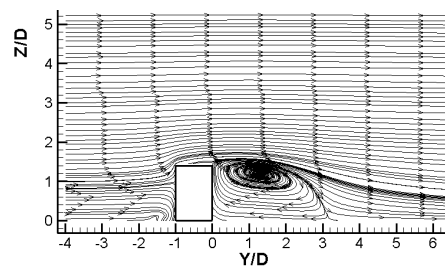


xxii. 三維鈍體計算流場之數值模型後處理程序：

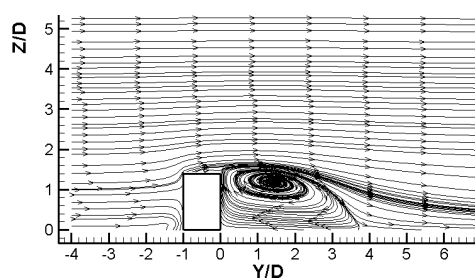
## 1. 方柱中心線之流線圖



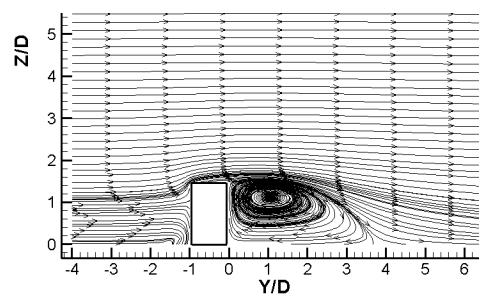
(a) k-e High Re 中心線流場圖



(b) CUBIC High Re 中心線流場圖

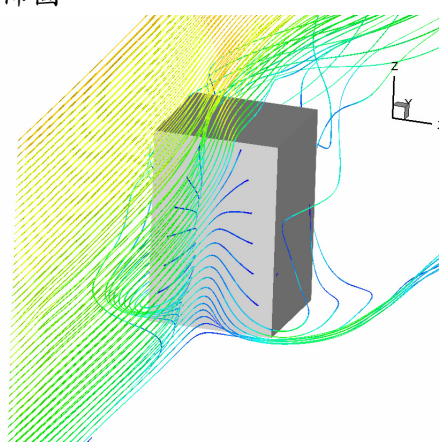
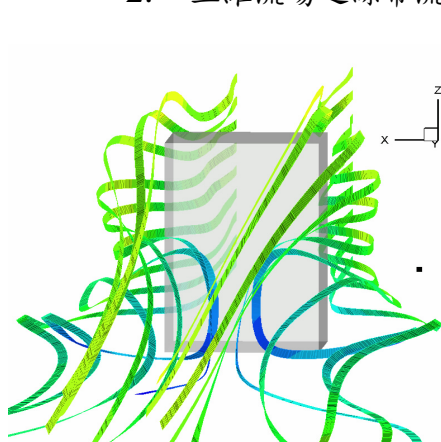


(c) Quadratic High Re 中心線流場圖



(d) RNG 中心線流場圖

## 2. 三維流場之絲帶流線分佈圖



## 第六章 結構風工程知識管理平台之發展

### 6-1 計畫概述：

知識經濟的浪潮近年來衝擊著我們使人應接不暇。最近，知識管理（KM）已成為相當盛行的話題，在組織內部中，企業運作的電腦化及文件的數位化使我們可在線上取得多量的資料；從外在而言，網路上有著無邊無際的資訊可利用，這些皆宣告了更有效利用資訊的需求。資料是被動的；資訊則是行動的所在，如何利用資訊來支援決策的知識變得極為重要，基於知識即是力量與資產的信念，有效的知識管理給予組織成功所必要的競爭優勢。

近來知識管理的措辭被過度的使用，對於不同的人它代表不同的事物，知識管理只是個廣義、概念性的說法，它涵蓋許多不同的活動：從顧客關係管理到文件管理、從企業資源的規劃到群體化的軟體、從商業法則到專家系統、從知識的入口網站到智慧化的搜尋、從資料的堆疊到資料的擷取…等等。

知識管理在商業與非商業領域中支援知識的擷取與轉移，在土木工程領域裡，知識管理可用來管理大型的資料庫與知識庫，也就是用來擷取、分享和再利用企業組織的記憶、工程設計的記憶及專案計畫的記憶等等。它將驅使土木工程領域中一重要的程序與方法的改進，其規模將是自從引進 CAD 後所未見的。

因此本研究希望發展一個整合性的結構風工程知識管理架構，以便於管理大型的風洞實驗資料庫與知識庫，分析程序與計算工具，設計規範與標準等。並將專家的經驗知識、實驗流程、分析方法置於其中，整合所有的資料與相關的資訊系統，並提供一個友善的網路介面來支援整個研究團隊的聯繫與資料交換，提昇協同研究的工作效率。同時系統亦將提供研究成果展示的功能和諮詢，可有效的推廣本研究團隊在結構風工程領域的研究成果。

### 6-2 結構風工程知識管理需求分析

#### 11. 結構風工程資料之收集：

結構風工程是一多元化的知識領域，包括試驗程序、試驗數據、結構理論、分析計算、模式判別、法規條文、經驗公式等，所以收集結構風工程資料的步驟是需要持續不斷的進行，截至目前為止，我們已收集多項風洞試驗模擬的數據資料（如參考文獻）。

本校風工程研究中心近幾年之內，在高層建築結構受風力影響的風洞試驗模擬上，已有豐富的實驗成果；除了針對不同斷面模型進行的試驗外，也模擬出不同試驗風場的風力反應，且在實驗數據的後處理方面，亦開發

出完整的分析程式，例如風力係數與風力頻譜的分析、設計風載重的計算、風力頻譜曲線平滑修正等等。

在此，利用風工程研究中心多年來的運作，使得收集風洞試驗的相關論文集與結構理論的工作方便許多；在實驗數據分析程式等內部資料上，也能完整的取得。透過這些文件與檔案資料，本子計畫團隊成員可更清楚的瞭解風洞試驗進行的流程與分析的理論架構。

### 30. 知識管理之文獻回顧：

知識管理是一個新興的領域。他的定義可根據環境條件、目的和應用視情況而定。主流的看法為，除了企業有形的物質與金融資產（physical and financial capital）外，最有價值的資產是無形的智慧資源，這包含了人員資產（human capital）與架構資產（structural capital）。人員資產是不明顯的，且通常以機智、訣竅和經驗為基礎的知識形式由知識工作者所擁有。另一方面，架構資產則是清晰明確且儲存在資料庫、文件等等中，通常是組織成電腦程式、資料、工具、產品和過程的形式。知識管理是透過合作和整合的方法來擷取、部署和保持一個組織的智慧資產。知識管理的關鍵目的是在支援某一個人到另一個人之間的知識轉移和知識的再利用，而這即是增進組織機構能力的根本。

最近這幾年，「知識管理」這個名詞不斷的被提出來討論、研究，所以在國內外的期刊論文以及報章雜誌或相關書籍中，本團隊竭力收集，尋找許多跟知識管理相關的文獻，也進行知識管理應用實際案例的整理，以資參考，重要文獻參見參考文獻。

### 31. 協同工作需求之調查：

在整體的風工程研究中心方面，包括許多的研究項目：高層建築風洞試驗、橋樑風工程研究、鈍體空氣動力學研究、氣動力結構控制試驗、風工程計算實驗、人工智慧研究等等。每一研究組別與其他相關研究組別常有合作的情形產生，老師與學生之間彼此的互動也相當頻繁，所以在協同工作的需求方面，則進行風工程研究中心的老師與學生的訪問，討論當前研究工作的現況與，工作上欲改善的項目，並將此資料整理歸納。

除了調查不同領域研究合作的工作外，對於單一研究項目的工作方面，亦進行知識管理的實行步驟，由於高層建築風洞試驗研究的內容相當豐富與完整，所以成為實行的對象；因此本子計畫成員對高層建築團隊則進行一連串的訪談與知識擷取，並規劃出實行的項目與順序。下表即是協同工作實行的步驟項目：

	不同組別的協同合作	單一組別的工作
第一項	統一群體溝通的方式	實驗數據分析處理
第二項	方便與快速的資料傳遞	分析程式整合與資料儲存
第三項	資源共享的達成	文獻與規範資料的查詢
第四項	知識累積與傳遞	風工程專家系統的建置

### 32. 知識擷取與專家訪談：

在 91 年的十至十二月之中，本團隊的成員與風工程研究中心的師生進行約五次的會談；在會談中，首先討論了風工程研究中心的工作需求，並且互相瞭解彼此的研究領域；其次，亦討論風洞試驗進行的流程與數據分析的方法，在瞭解初步的試驗流程與方法後，本團隊也以 WebExpert 展示網際網路上數據分析的流程，藉此使彼此對於網際網路數據分析的功能上有初步共識；近兩次的會議討論中，本團隊針對實驗數據資料庫的儲存方式與各表單、欄位的規劃進行意見交換，在欄位名稱上經由風洞實驗室的老師學生的指導已大致底定，且對於資料庫的建立模式也有了初步的共識，所儲存的內容也確定為風力係數與風力頻譜的檔案資料。

## 6-3 知識管理網路基礎設施建置

### 12. 系統功能與規格設定：

本系統規格設定乃是一網際網路的工作平台，也是進行成員溝通協調的工具，所以本系統的功能目前規劃三大方向：

- 入口網站
- 群體協調合作
- 執行實驗數據分析與圖形繪製。

透過本系統的運作，可以快速的進入風洞實驗的領域，並且能更有效率的找到所需的資料；也可以進行數據分析與實驗結果的儲存，以供日後進行比較分析時使用；在團隊合作方面，能增加工作規劃與實行的效率，更可清楚的掌握每一項工作進行的階段。

### 33. 軟體之評估與引進：

由於以往所購買的單機版軟體無法應用於網際網路上，所以必須引進部分軟體以利網際網路程式的順利執行，在此方面，我們評估了圖表繪製與架站套件等軟體，其功能評估詳見表 6-1、表 6-2 與表 6-3。

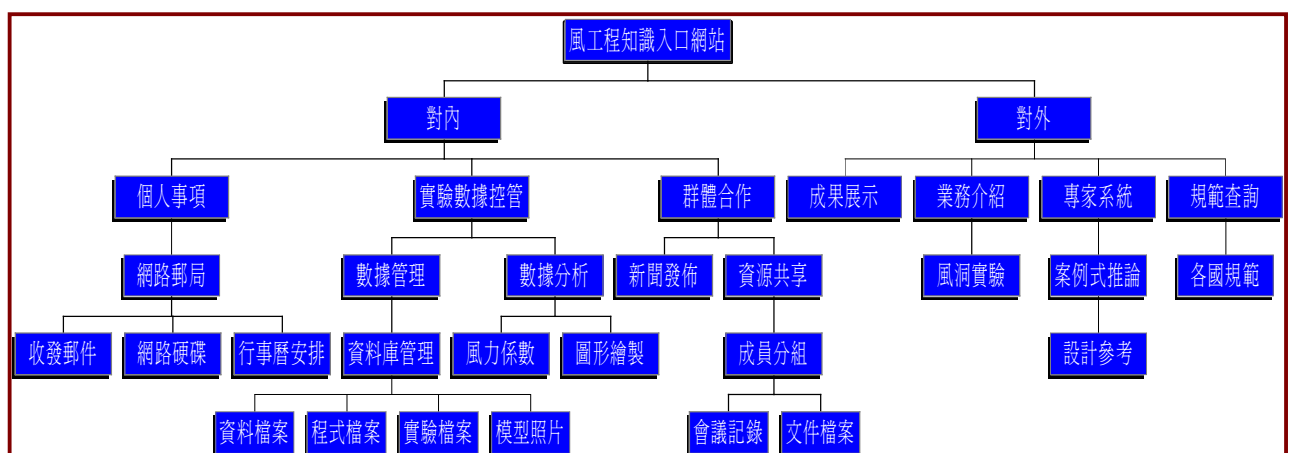
最後，在圖表繪製軟體方面，我們選擇購買 WebCharts3D，因為其功能強大，且有跨平台的特性，在使用上也較簡單方便，價格方面也較合理；在架站套件的軟體方面，我們選擇 ZOPE 的架站套件，雖然此軟體在國內並不常見，且其所使用的語言也是近幾年才出現，但是 ZOPE 的擴充性遠大於其它套件，在國外已開發許多的功能，所以要安裝其它的模組，如專家系統，也比較容易。

### 34. 軟體硬體環境之建置：

92 年的一月至三月，我們在採購的伺服器設備上安裝了 Linux RedHat 7.3 的作業系統，也設定了網際網路伺服器、郵件伺服器、FTP 伺服器等各項參數。另外，在此伺服器上，我們也安裝了一套 WebMail 的軟體和一套網站建置系統的程式（以上所列出的軟體都是自由軟體），另外，本團隊所評估購買的圖表繪製的軟體（WebCharts3D）也已安裝完畢；至此，軟硬體環境的建置已大致完成。

### 35. 整體系統模型架構之制訂：

在整體系統模型架構方面，我們規劃『風工程知識入口網站系統』為本架構的名稱，此系統為風工程研究中心對內與對外的窗口，內容包括風工程研究中心的研究成果展示與研究組別介紹，當然，各組別的研究工作也是在此系統內進行。其系統架構圖如下：



## 6-4 整合型知識管理系統程式撰寫和研發

在知識管理系統發展方面，我們採用以 Python 語言所撰寫的一套網站建置系統「ZOEPE」來進行，因為 ZOEPE 有以下的特點：

- 系統架構完整
- 程式擴充性高
- 網路化發展介面

在 ZOEPE 的系統之下，我們選擇「PLONE」為系統模型的基本架構，PLONE 是一種文件管理系統，除了新聞與文件的發佈外，還有基本的群組會員分類系統，另外，我們還規劃整合「OpenWebMail」成為網路郵局的功能，以及自行發展風洞實驗數據管理與分析的系統。目前程式正發展中，雛型系統已具備部分功能。

雛型系統介面展示：

### 1、 登入畫面：



## 2、 歡迎首頁：



## 3、 成員搜尋：



## 4、 新聞發佈：

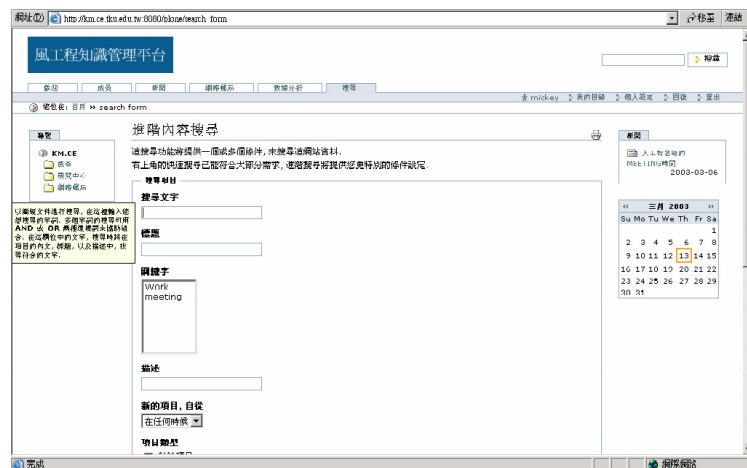




## 5、 網路郵局：



## 6、 進階搜尋：



## 7、 研究中心：



## 8、 各研究組別內容：



## 9、 新增資料：



表 6-1 圖表繪製軟體評估表(a)

程式名稱		Sitraka Jclass ServerChart 2.1	PopChart Server 4.0 Foundation	NetCharts Beans Ver 4.0
可安裝作業環境		1. Windows 2000/XP 2. RedHat Linux 7.0 3. Solaris	1. Windows 2000/XP 2. Unix or Linux 3. Solaris 8.0 4. Mac OS X	1. Windows 2000/XP 2. Linux 3. Solaris
需要其餘程式語言與否		1. JDK 1.2.2(Java 2D) 2. JDK 1.3.1(Java 3D)	1. JRE 1.3 2. JVM 1.3.1	JDK 1.3、Chart Definition Language(CDL)
S E R V E R	執行程式的方式	TomCat3.2.3 J2EE Servlet、JSP	ColdFusion、TomCat、 ASP、JSP、Java Servlet	Java Servlet、JSP、TomCat、 J2EE
	圖形檔案的種類	Flash、SVG、PNG、GIF、JPEG	GIF、PNG APPLET(for Live Version)	Applet、Image(JPG、PNG、 PSD、TGA、ICO)
	可繪製圖形的種類	Bar、Pie、Area、Scatter Plot、 Line、Candle 共十種	X-Y Chart、Time Chart、 Line、Area 共十六種	X-Y Chart、Bar、Line Chart 共十四種
C L I E N T	控制圖形的方式	不需寫 JAVA Script 即可從圖 形中得到資料點的數據	COM Interface、.Net Component	2. 直接變更 Applet 上的資 料 2. 透過 JAVA Script 改變圖形
	支援瀏覽器的版本	1. Netscape 6.1 2. IE 5/6	1. Netscape 4.75 2. IE 5.0	1. Netscape 4.75 2. IE 5.0
動 態 控 制	控制圖形的程度	只可讀取圖形上的數據資料	資料改變，圖形與說明文 字可自動改變	資料改變，圖形可自動改變
	有否 IMAGE MAP	有	有	有
	可否 Drill-Down Data	可	可	可
可連結的資料庫(資料來 源的方式)		JDBC、File、Socket、IBM WebSphere、BEA WebLogic	ODBC、JDBC、Tab、 Comma、HTML 表格資 料，XML 檔案	ODBC、JDBC 不可直接連結至資料庫中
可相結合之發展程式		1. JBuilder 5.X 2. Forte 3.X 3. Visual Age 3.5	1. 本身有 PopChart Builder 可方便繪圖	1. JBulider 2. Forte 3. Visual Age

表 6-1 圖表繪製軟體評估表(a)－續

<b>X-Y 座標軸的設定程度</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 傳統座標</li> <li>2. 對數座標</li> <li>3. 多種 Y 座標</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 傳統座標</li> <li>2. 對數座標</li> <li>3. 多種 Y 座標</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 傳統座標</li> <li>2. 對數座標</li> </ol>
<b>圖表環境的設定選項</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 資料標籤</li> <li>2. 圖例</li> <li>3. 座標軸</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 可變化背景圖、顏色</li> <li>2. 跳出的文字方塊</li> <li>3. 可增加註解於圖形上</li> <li>4. 可變化資料點的顏色、樣式</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 背景圖案</li> <li>2. 圖形顏色</li> <li>3. 字型</li> <li>4. 座標軸形式</li> </ol> <p>共有 12 種圖表環境的功能</p>
<b>圖形的美觀程度</b>	佳	佳	較佳
<b>設計的方便性</b>	需自行編寫程式	需自行編寫程式	可結合 ChartWorks Desinger 繪圖
<b>產品價格（美金）</b>	116025（台幣）	1590	2320
<b>附註</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. JClass Server Views</li> <li>2. JClass Desktop Views</li> <li>3. 包含 JClass ServerReport 可產生 PDF 畫面</li> </ol>	可支援中文字形、	程式本身有一 CDL 的語言，可控制圖形

表 6-2 圖表繪製軟體評估表(b)

程式名稱		<i>WebCharts 3D Enterprise Edition</i>	<i>VisualSoft JBChart 3.4</i>	<i>Jsuit (Power Chart) Ver.6</i>
可安裝作業環境		1. Windows 2000/XP 2. Linux 3. Solaris	1. Windows 2000/XP 2. Linux	1. Windows 2000/XP 2. Linux
需要其餘程式語言與否		1.JDK 1.2	JDK 1.3 for SWING	JDK 1.1、JDK 1.2
S E R V E R	執行程式的方式	NET、JSP、ASP、Active X	Java Beans，與執行 JAVA 程式相同	AWT, JavaBeans™ and JFC
	圖形檔案的種類	Applet、Image( JPEG, PNG, GIF, WBMP, SVG, SWF)	Applet、Image ( PNG、BMP、JPEG, SVG、CFL、WBMP、XML )	Applet、Image ( JPEG )
	可繪製圖形的種類	bar, cone, line, area, scatter, curve, timeline.共二十二種	Bar、Line、Area、Column、XY-Scatter 共十五種	Area、Line、Bar、Pie、Scatter 共十種
C L I E N T	控制圖形的方式	透過 METHOD 來傳遞指令	Automatic Scale	以其 DATA MODEL 的方式處理資料，即可自由的控制圖形
	支援瀏覽器的版本	1. IE 5.0 2. Netscape 4.75	1. Netscape 4.75 2. IE 5.0	1. Netscape 4.71 2. IE 5.0
動態控制	控制圖形的程度	可改變資料欄位，使圖形變化；或改變數值	透過滑鼠右鍵可編輯資料點	可自動調整圖形的大小以符合視窗尺寸
	有否 IMAGE MAP	有	有	有
	可否 Drill-Down Data	可	可	可
可連結的資料庫(資料來源的方式)		ADO、ODBC/JDBC、EXCEL、url/text file	CFL、XML、TableModel、Applet、ResultSet、Flat File	XML、JDBC、Streaming Sockets
可相結合之發展程式		1. Visual Studio .NET 2. FrontPage 3. InterDev 4. ColdFusion Studio	1. JBuilder5.0 2. Forte 2.0&3.0 3. Visual Age 3.5 4. JDeveloper3.2.2	1. JBuilder 5.0 2. Visual Age 3.5

表 6-2 圖表繪製軟體評估表(b)－續

<b>X-Y 座標軸的設定程度</b>	1. 傳統座標 2. 對數座標（算數、幾何）	1. 傳統座標	1. 傳統座標
<b>圖表環境的設定選項</b>	1. 背景圖案 2. 12 種標記 3. 資料捲軸 4. 資料標題	1. 座標軸標題 2. 資料標籤、顏色 3. 圖例背景的顏色	1. 可變化圖形顏色、字型與標籤
<b>圖形的美觀程度</b>	尚可	普通	尚可
<b>設計的方便性</b>	可在網頁編輯程式上繪圖	需自行編寫程式	需自行編寫程式
<b>產品價格（美金）</b>	1350	549.	795.
<b>附註</b>	部分功能只能在網頁編輯程式上使用，採用 XML 的方試交換資料	可結合套裝程式，以產生圖表報告例如：Financial Management、Analysis and Reporting applications	除了繪圖的功能外，還有行事曆、資料瀏覽管理、

表 6-3 文件管理系統軟體套件評估表

	PHP Nuke	Xoops	ZOPE
最新版本	6.0	1.0 RC 3.0.5	2.6
作業平台	1. Linux 2. Windows 3. Solaris	1. Linux 2. Windows 3. Solaris	1. Linux 2. Windows 3. Solaris
WEB 伺服器	1. Apache 2. IIS	1. Apache 2. IIS	1. Zserver 2. Apache
資料庫	1. MySQL	1 MySQL	1. Object Database 2. MySQL
執行的語言	PHP	PHP	Python
功能	會員管理、新聞發佈文章自動發佈、會員帳戶管理、廣告管理、投票箱、排行榜、網站狀態及閱覽統計、聊天室、布景選擇、討論區、搜尋引擎、精華區、下載區、網站連結區	會員管理、模組及區塊管理、使用者管理系統、phpBB 討論板	本身有網頁伺服器與資料庫
特點	可輕易的建構完整的入口網站的文件管理系統	採用物件導向式核心系統	DTML Zclass Z SQL Method Products

## 參考文獻

### 結構風工程資料

1. 張嘉文，「以力平衡儀評估高層建築之設計風載重」，淡江大學土木工程研究所碩士論文，民國 88 年。
2. 謝雨利，「幾何造型對高層建築設計風載重的影響」，淡江大學土木工程研究所碩士論文，民國 89 年。
3. 劉中泰，「高層建築之斷面形式對其設計風載重之影響」，淡江大學土木工程研究所碩士論文，民國 90 年。
4. 張家豐，「高層建築順風向設計風載重之比較研究」，淡江大學土木工程研究所碩士論文，民國 90 年。
5. Emil Simiu, Rebert H. Scanlan (1986), "Wind Effects on Structures" 3rd edit. John Wiley & Sons.

### 知識管理文獻資料

1. 杜拉克等著，張玉文譯「知識管理，哈佛商業評論精選」，天下遠見出版，民國 89 年。
2. 湯瑪斯. 史都華著，宋偉航譯「智慧資本：資訊時代的企業利基」，智庫出版，民國 87 年。
3. 戴文坡、普賽克，「知識管理」，中國生產力中心，民國 88 年 11 月。
4. 林美良，「知識管理在公部門應用之研究--以電子化政府為例」，國立政治大學公共行政學系碩士論文，民國 89 年。
5. 楊景行，「營造業知識移轉系統與組織學習關係之研究」，國立中山大學高階經營碩士班論文，民國 90 年。
6. Wang, Jenmu (2001), "The Course, Power and Possibilities of Knowledge Management for Civil Engineering", The Cross-Strait Symposium on IT in Civil Engineering, Jiao Tong University, November 23~25, Shanghai, China, pp. 36-43.
7. Rasmus, Daniel W. (2000), "Knowledge Management: More Than AI But Less



- Without It,” PC AI Magazine, 14(2), 35–39.
8. Rasmus, Daniel W. (2001), “The Next Wave of Knowledge Management: Opportunities to Leverage Knowledge through People, Process and Technology,” PC AI Magazine, 15(4), 45–47.
  9. Rasmus, Daniel W. (2001), “Knowledge Management Trends:The Role of Knowledge in E-Business,” PC AI Magazine, 14(4), 16–20.
  10. Huntington, Dustin (2001), “Web-Based Expert Systems Are on the Way: Java-Based Web Delivery,” PC AI Magazine, 14(6), 34–36.
  11. Huntington, Dustin (2001), “Web-Based Expert Systems Are on the Way: Java-Based Web Delivery,” *PC AI Magazine*, **14**(6), 34–36.

# 第七章 橋樑抗風減振之消能裝置校正基準平台之架構建立

## 7-1 計畫概述

我國近年來經濟高度成長，加快公共建設如高速公路或快速道路等的興建步伐。其中，橋樑常扮演交通運輸上的樞紐，在自然災害如震災風災等的侵襲威脅下，橋樑結構之安全與否，直接間接地對附近地區經濟造成衝擊。我國近年來亦逐漸出現跨度較長的纜索支撐橋樑，隨著橋樑跨度的增長，增加了橋樑柔軟度，將使得這些纜索支撐橋樑受風力影響的振動行為愈來愈顯著，振動機制的複雜程度已超越昔日工程界對於處理一般短跨橋樑的認知，如何避免或減少風力引致的振動，以提高它們的安全可靠度，乃是學界工程界的一項新的挑戰。

本計畫提出建立橋樑抗風減振應用之消能裝置元件之性能測試架構系統，做為校正基準平台，建構一套校正元件性能之可靠實驗流程，以理論配合實驗的方式，有系統地探討消能裝置之元件性能。本計畫依工作內容預計在二年期間完成，第一年重點在架構一垂直與轉動向之震動裝置，並在其上設計二自由度之振動模型模擬橋面板結構作為校正基準平台。藉強制振動方式以系統識別法得到二自由度振動模型之力量與反應之間的相關轉換函數。

目前第一年之進度已如預期完成，分儀器採購、實驗裝置之架設及橋面板結構之系統識別三方面分別敘述。儀器採購方面共有頻譜分析儀、資料擷取卡及加速度計之購置；實驗裝置之架設包括二軸振動平台之組裝及模擬橋面板結構之兩個自由度振動模型之實驗架設；而橋面板結構之系統識別包括質量率定、轉動慣量率定、垂直向頻率反應函數之系統識別及轉動向頻率反應函數之系統識別。分述如下：

## 7-2 儀器簡介

### 13. 頻譜分析儀(Spectrum Analyzer)

廠牌為 OROS，型號為 OROS，附配筆記型電腦一台搭配軟體使用，其外觀如圖 7-1 所示。



圖 7-1：OROS 頻譜分析儀

其硬體簡略規格如下：八個類比輸入通道，最大範圍 $\pm 60\text{V}$ ，解析度 16 bits，最大採樣頻率 51.2 kHz。二個類比輸出通道，內建輸出波形包含 Sine、Swept Sine、Random、Chirp 等，解析度為 18 bits，另外使用者可自行定義波形，解析度則為 16 bits。一個外部觸發通道，最大範圍 $\pm 20\text{V}$ 。搭配其相關軟體使用，頻譜分析儀具四類功能：（一）即時量測與記錄（Real Time Recording）；（二）即時快速富利葉轉換與轉換函數之運算（Real Time FFT & Transfer Function）；（三）離線快速富利葉轉換與轉換函數之運算（Off-Line FFT & Transfer Function）；（四）可當波形產生器（Function Generator）使用。

36. 資料擷取卡(Acquisition Card)：

廠牌 National Instrument(NI)，型號 NI 6036E 之多功能擷取卡兩片，每片具 16 通道 16-bit 類比輸入及兩通道 16-bit 類比輸出，採樣頻率最快可達 200 k/sec，供作實驗量測之用。

37. 加速度計(Accelerometer)：

廠牌 PCB，型號 352C65 之加速度計共 10 個，其靈敏度為 100mv/g，頻率範圍 0.3 Hz~12 kHz，供作實驗量測之用。

## 7-3 實驗裝置之架設簡介

14. 二軸振動平台(2-Axis Shake Table)之組裝：

二軸振動平台為一具垂直與轉動向之雙軸振動裝置，每一軸由兩個同步電動馬達驅動，其中轉動軸由馬達直接驅動，垂直軸則透過導螺桿驅動，如圖 7-2、7-3 所示。此振動裝置追蹤命令訊號之能力可達頻率 10 Hz 左右。另外，為考

慮未來可能配合其他風洞實驗搬動之便利性，設計時盡量將其模組化，必要時可將各模組拆卸再重新組裝。二軸振動平台之功用為測試消能裝置之元件性能。

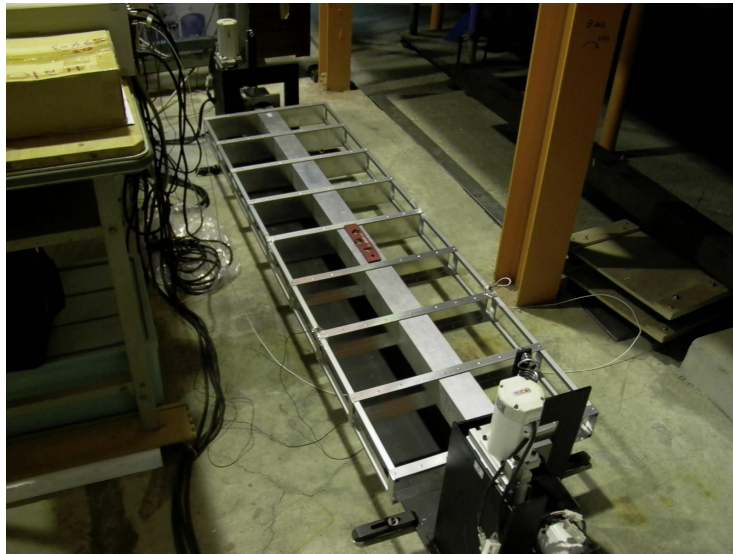


圖 7-2：二軸振動平台上視照片



圖 7-3：二軸振動平台平視照片

38. 模擬橋面版結構之兩個自由度振動模型之實驗架設：

在二軸振動平台上建構一兩個自由度（垂直向及轉動向）模型模擬橋面版結構，並架設相關量測設備，如圖 7-4 所示。圖 7-5 所示為橋面版模型之機構示意圖。



圖 7-4：兩個自由度之橋面版振動模型照片

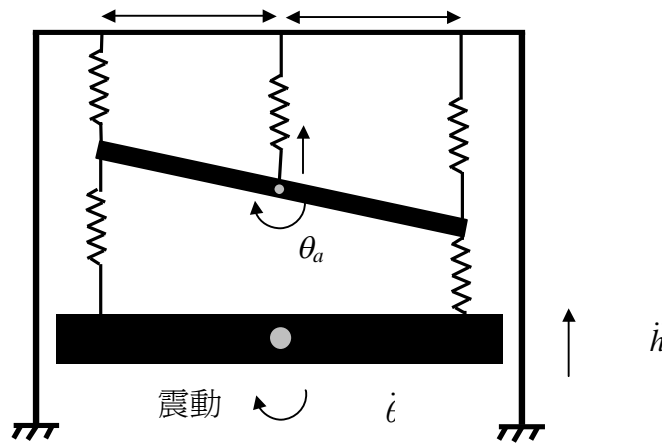


圖 7-5：橋面版模型之機構示意

根據圖 7-5 所示，可導得橋面版受振動平台之擾動後其垂直向之運動方程式為

$$m \ddot{h}_a + (c_2 + 2c_1) \dot{h}_a + 2c_1(\dot{h}_a - \dot{h}_0) + (k_2 + 2k_1)h_a + 2k_1(h_a - h_0) = 0 \quad (1)$$

其中  $h_a$  為橋面版之垂直向絕對位移， $h_0$  為振動平台之垂直向絕對位移。式(1)

可改寫成以  $h_a$  為未知數之方程式，亦即

$$m \ddot{h}_a + (c_2 + 4c_1) \dot{h}_a + (k_2 + 4k_1) h_a = 2c_1 \dot{h}_0 + 2k_1 h_0 \quad (2)$$

則由  $\ddot{h}_0$  引起之  $\ddot{h}_a$  之頻率反應函數（Frequency Response Function） $T_{\ddot{h}_a/\ddot{h}_0}$  為

$$T_{\ddot{h}_a/\ddot{h}_0} = \frac{\frac{1}{m} (2c_1(i\omega) + 2k_1)}{(i\omega)^2 + 2\zeta_h \omega_h(i\omega) + \omega_h^2} \quad (3)$$

其中  $\omega_h = \left(\frac{k_h}{m}\right)^{1/2}$  ;  $k_h = k_2 + 4k_1$  ;  $\zeta_h = \frac{c_h}{2m\omega_h}$  ;  $c_h = c_2 + 4c_1$  。亦可得  $\ddot{h}_0$  引起

之相對加速度  $\ddot{h}$  （ $h = h_a - h_0$ ）之頻率反應函數

$$T_{\ddot{h}/\ddot{h}_0} = T_{\ddot{h}_a/\ddot{h}_0} - 1 = \frac{-(i\omega)^2 - \frac{c_2 + 2c_1}{m} (i\omega) - \frac{k_2 + 2k_1}{m}}{(i\omega)^2 + 2\zeta_h \omega_h(i\omega) + \omega_h^2} \quad (4)$$

另外，橋面版受振動平台擾動之轉動向運動方程式可表示為

$$J \ddot{\theta}_a + 2c_1 r^2 \dot{\theta}_a + 2c_1 r^2 (\theta_a - \dot{\theta}_0) + 2k_1 r^2 \theta_a + 2k_1 r^2 (\theta_a - \theta_0) = 0 \quad (5)$$

其中  $\theta_a$  為橋面版之轉動向絕對轉角， $\theta_0$  為橋振動平台之轉動向絕對轉角。

或改寫成

$$J \ddot{\theta}_a + 4c_1 r^2 \dot{\theta}_a + 4k_1 r^2 \theta_a = 2c_1 r^2 \dot{\theta}_0 + 2k_1 r^2 \theta_0 \quad (6)$$

則由  $\ddot{\theta}_0$  引起之  $\ddot{\theta}_a$  之頻率反應函數  $T_{\ddot{\theta}_a/\ddot{\theta}_0}$  為

$$T_{\ddot{\theta}_a/\ddot{\theta}_0} = \frac{\frac{r^2}{J} (2c_1(i\omega) + 2k_1)}{(i\omega)^2 + 2\zeta_\theta \omega_\theta(i\omega) + \omega_\theta^2} \quad (7)$$

其中  $\omega_\theta = \left(\frac{k_\theta}{J}\right)^{1/2}$  ;  $k_\theta = 4 k_1 r^2$  ;  $\zeta_\theta = \frac{c_\theta}{2m\omega_\theta}$  ;  $c_\theta = 4 c_1 r^2$  。亦可得  $\ddot{\theta}_0$  引起之相

對加速度  $\ddot{\theta}$  ( $\theta = \theta_a - \theta_0$ ) 之頻率反應函數

$$T_{\ddot{\theta}/\ddot{\theta}_0} = T_{\ddot{\theta}_a/\ddot{\theta}_0} - 1 = \frac{-(i\omega)^2 - \frac{r^2}{J} (2c_1 (i\omega) + 2k_1)}{(i\omega)^2 + 2\zeta_\theta \omega_\theta (i\omega) + \omega_\theta^2} \quad (8)$$

理論式 (4) 及式 (8) 中之各參數  $m$ 、 $\omega_h$ 、 $\zeta_h$ 、 $J$ 、 $\omega_\theta$ 、 $\zeta_\theta$  將在下節之系統識別中與實驗結果比較而求出。

#### 7-4 橋面版結構之系統識別：

##### 15. 垂直自由度質量率定：

根據單自由度結構動力學  $k_h = m \omega_h^2$ ， $k_h$ 、 $m$ 、 $\omega_h$  分別為結構之勁度、質量及自然頻率。將額外質量依序加於原結構，因結構勁度不變，總共質量與自然頻率之關係可寫為

$$\frac{1}{\omega_h^2} = \frac{1}{k_h} (m + \Delta m) \quad (9)$$

因此，以  $\frac{1}{\omega_h^2}$  為縱軸， $\Delta m$  為橫軸，斜率與縱軸截距即分別代表  $\frac{1}{k_h}$  與  $\frac{m}{k_h}$ 。將縱軸截距除以斜率可得質量  $m$ 。質量率定曲線如圖 7-6 所示，所得質量  $m$  為 5.2 kg



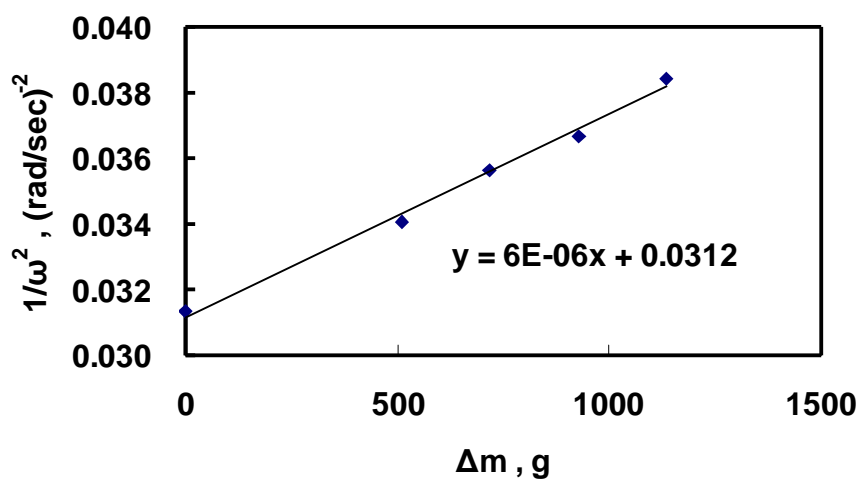


圖 7-6：質量率定曲線

39. 轉動自由度轉動慣量率定：

如前述之質量率定，以  $\frac{1}{\omega_\theta^2}$  為縱軸， $\Delta J$  為橫軸，斜率與縱軸截距即分別代表  $\frac{1}{k_\theta}$  與  $\frac{J}{k_\theta}$ 。將縱軸截距除以斜率可得轉動慣量  $J$ 。轉動慣量率定曲線如圖 7-7 所示，所得轉動慣量  $J$  為  $0.079 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ 。

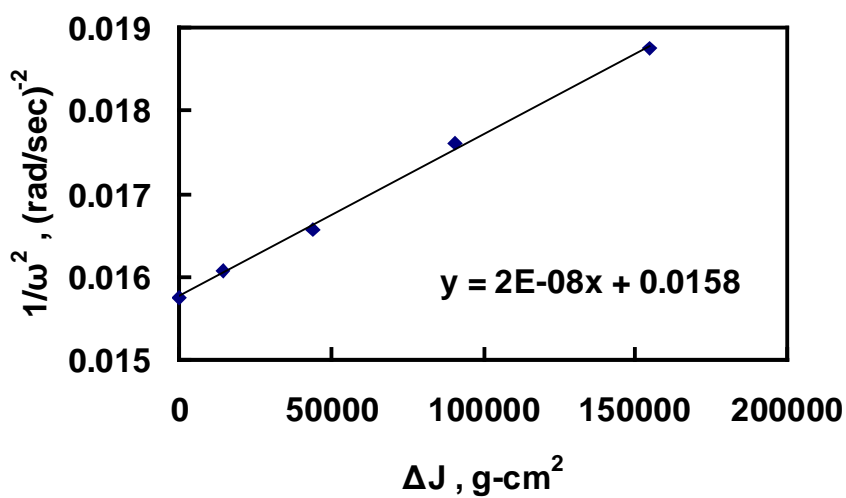


圖 7-7：轉動慣量率定曲線



#### 40. 垂直向頻率反應函數 (Frequency Response Function)：

輸入白訊命令驅動振動台垂直向馬達，量測振動台垂直向絕對加速度及橋面版垂直向相對加速度反應，得兩者頻率域之頻率反應函數 $T_{\ddot{h}/\ddot{h}_0}$ 如圖 7-8 虛線所示，經曲線擬合後之曲線如圖 7-8 實線所示。

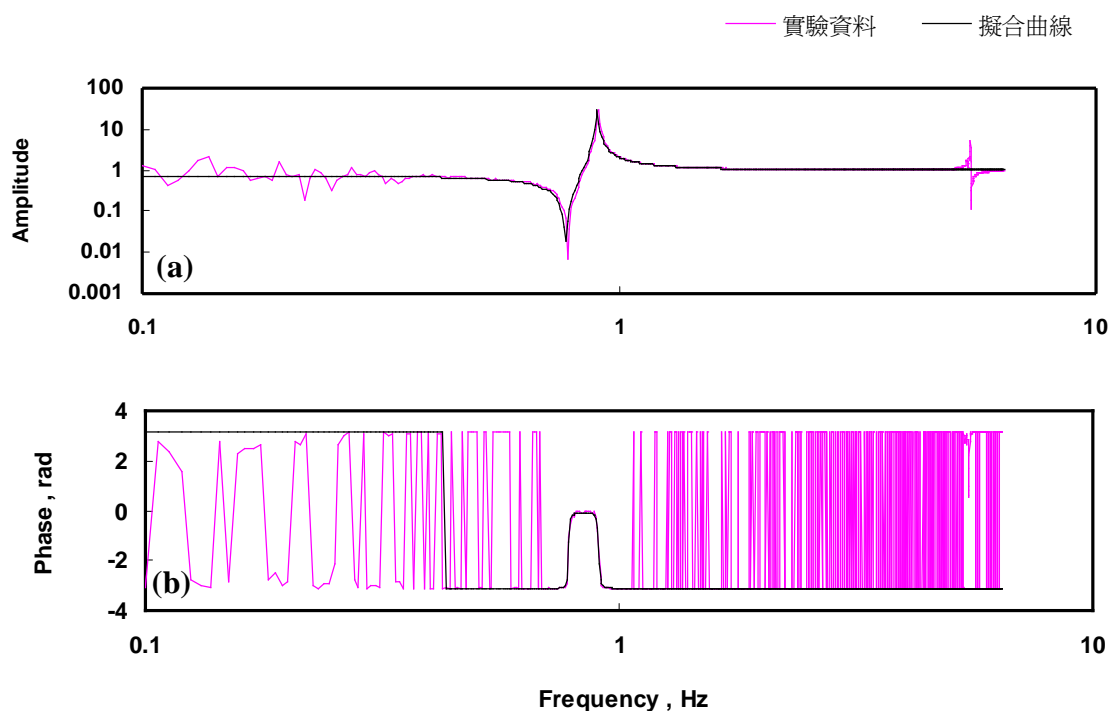


圖 7-8：橋面版垂直向相對加速度與振動台垂直向絕對加速度之頻率反應函數：(a)振幅；(b)相角

曲線擬合之結果為 $T_{\ddot{h}/\ddot{h}_0} = \frac{-(i\omega)^2 - 0.02813(i\omega) - 23.798}{(i\omega)^2 + 0.04169(i\omega) + 31.837}$ ，與式 (4) 比較可得阻

尼比  $\zeta_h = 0.37\%$  自然頻率  $\omega_h = 0.898 \text{ Hz}$

#### 41. 轉動向頻率反應函數 (Frequency Response Function) :

輸入白訊命令驅動振動台轉動向馬達，量測振動台轉動向絕對角加速度及橋面版轉動向相對角加速度反應，得兩者頻率域之頻率反應函數  $T_{\ddot{h}/\ddot{h}_0}$  如圖九虛線所示，經曲線擬合後之曲線如圖 7-9 實線所示。

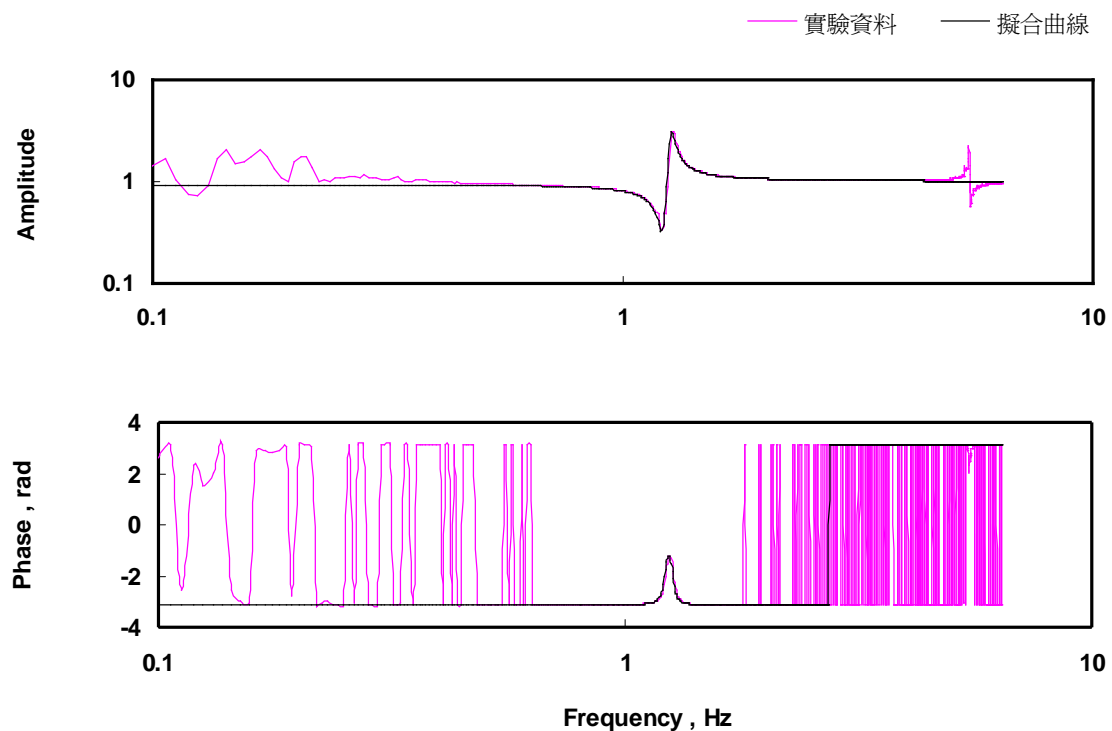


圖 7-9：橋面版轉動向相對角加速度與振動台轉動向絕對角加速度之頻率反應函數：(a)振幅；(b)相角

曲線擬合之結果為  $T_{\ddot{\theta}/\ddot{\theta}_0} = \frac{-(i\omega)^2 - 0.2323(i\omega) - 59.030}{(i\omega)^2 + 0.2246(i\omega) + 63.136}$ ，與式 (4) 比較可得阻尼

比  $\xi_{\theta} = 1.41\%$  自然頻率  $\omega_{\theta} = 1.265 \text{ Hz}$ 。

# 第八章 長跨徑橋梁風洞試驗方法與技術的提升

## 8-1 計畫概述

遠從十七世紀開始，纜索支撐橋梁的發展一直吸引著橋梁工程師的目光，從傳統的設計方法到近代的非線性分析方法，無不顯示此類橋梁所佔的地位與重要性[1-3]。但是，纜索支撐橋梁的設計，隨著 1940 年美國 Tacoma Narrows Bridge 的破壞，橋梁設計者已了解到，除了須兼顧到材料的強度之外，氣動力不穩定效應是一個非常重要之因素，因為橋梁的演進歷史告訴我們，纜索支撐橋梁最主要殺手是風力引致的氣彈不穩定現象。

至此，跨領域的航空工程的氣動力理論應用到土木工程領域上，因而防止了橋梁受風力破壞的事件的發生。橋梁與飛機結構確實有許多不同之處，如橋梁具鈍體斷面、非流線型、承受的風速較小、大氣邊界層的影響較大，與亂流效應等。由於這些問題使得橋梁斷面受風作用所引發的氣動力與飛機機翼差異很大。故為徹底地解決纜索支撐橋梁之氣動力穩定問題，首須先掌握此類橋梁承受之氣動力形式。Sabzerari 和 Scanlan [4]最早提出一套以顫振導數(flutter derivatives)來描述橋梁氣動力，此一氣彈力型式清楚地定義出平均風速下的自激力(self-excited force)，以及擾動風速下的抖振力(buffeting force)，而此一橋梁氣彈力之定義方法相當方便，業已沿用近二十年之久。

橋梁氣動力顫振導數主要是以斷面模型於風洞試驗中進行，藉由不同風速作用下，同時量取斷面模型的垂直與扭轉反應，在經由適當的系統識別技巧探求出模型的動力特性參數，進而求出顫振導數。目前，應用於系統識別的方法眾多，Shinozuka 等人[5]曾介紹幾種適用於線性結構的識別方法，如最小平方法(LS)，工具變數法(IV)，最大或然率法(ML)與限制資訊最大或然率法(LIML)。Sakar 等人[6]曾經引入工具變數矩陣修正 Ibrahim 時間域識別法，稱為修正之 ITD 法，簡稱 MITD，而陳等人[7]亦對此一方法進行更深入之探討。Poulsen 等人[8]曾利用 stochastic realization 識別法，探求八個顫振導數。另外，Yamada 等人[9]和 Iwamoto 和 Fujino[10]曾利用延伸卡氏過濾器(extended Kalman filter)，結合 AR 模式(autoregressive model)求得顫振導數。

由以上說明，在顫振導數識別方面之研究方面，大多是以傳統的時間域方法進行。本文主要是提出一種經由類神經網路運算的系統識別新方法[11]，應用於風洞試驗數據，探求氣動力之顫振導數。類神經網路的基本精神在於模擬人腦所建立的學習系統，具有學習精度高、分佈儲存與容錯能力、可適應性及回想速度快等特性。因此，在土木工程領域中，也常應用於地震工程、材料強度預測、主

動控制及非破壞檢測等研究。

## 8-2 顫振導數

考慮橋梁二維斷面模型，在平滑流場作用下之雙自由度運動，如圖 8-1 所示，其方程式可表示成

$$\begin{bmatrix} m & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{h} \\ \ddot{\alpha} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{h} \\ \dot{\alpha} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} h \\ \alpha \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} L_{se} \\ M_{se} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

式中  $m$  為質量， $I$  為轉動慣性矩， $c_{ij}$  為阻尼值， $k_{ij}$  為勁度值( $i, j=1, 2$ )， $h$  和  $\alpha$  分別為垂直向和扭轉向之振動位移， $\dot{h}$  和  $\dot{\alpha}$  分別表示垂直向和扭轉向之振動速度。另外，垂直向與扭轉向自激力  $L_{se}$  與  $M_{se}$ ，為

$$L_{se} = \frac{1}{2} \rho U^2 B [KH_1^* \left(\frac{\dot{h}}{U}\right) + KH_2^* \left(\frac{\dot{\alpha}}{U}\right) + K^2 H_3^* \alpha + K^2 H_4^* \left(\frac{h}{B}\right)] \quad (2)$$

$$M_{se} = \frac{1}{2} \rho U^2 B^2 [KA_1^* \left(\frac{\dot{h}}{U}\right) + KA_2^* B \left(\frac{\dot{\alpha}}{U}\right) + K^2 A_3^* \alpha + K^2 A_4^* \left(\frac{h}{B}\right)] \quad (3)$$

其中  $\rho$  為空氣密度， $U$  為平均風速， $B$  為斷面模型寬度， $H_i^*(K)$  和  $A_i^*(K)$  ( $i=1\sim 4$ ) 為無因次顫振導數，這些導數都是折減頻率(reduced frequency)  $K$  的函數， $K=B\omega/U$ ， $\omega$  為結構振動角頻率。將式(2)與式(3)代入式(1)，則式(1)可寫成

$$\mathbf{M} \begin{Bmatrix} \ddot{h} \\ \ddot{\alpha} \end{Bmatrix} + \mathbf{C}^{eff} \begin{Bmatrix} \dot{h} \\ \dot{\alpha} \end{Bmatrix} + \mathbf{K}^{eff} \begin{Bmatrix} h \\ \alpha \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (4)$$

其中  $\mathbf{M} = \begin{bmatrix} m & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix}$ ， $\mathbf{C}^{eff} = \begin{bmatrix} c_{11}^{eff} & c_{12}^{eff} \\ c_{21}^{eff} & c_{22}^{eff} \end{bmatrix}$ ， $\mathbf{K}^{eff} = \begin{bmatrix} k_{11}^{eff} & k_{12}^{eff} \\ k_{21}^{eff} & k_{22}^{eff} \end{bmatrix}$ 。而

$$\begin{aligned}
c_{11}^{eff} &= c_{11} - \frac{1}{2} \rho U B K H_1^* ; & k_{11}^{eff} &= k_{11} - \frac{1}{2} \rho U^2 K^2 H_4^* \\
c_{12}^{eff} &= c_{12} - \frac{1}{2} \rho U B^2 K H_2^* ; & k_{12}^{eff} &= k_{12} - \frac{1}{2} \rho U^2 B K^2 H_3^* \\
c_{21}^{eff} &= c_{21} - \frac{1}{2} \rho U B^2 K A_1^* ; & k_{21}^{eff} &= k_{21} - \frac{1}{2} \rho U^2 B K^2 A_4^* \\
c_{22}^{eff} &= c_{22} - \frac{1}{2} \rho U B^3 K A_2^* ; & k_{22}^{eff} &= k_{22} - \frac{1}{2} \rho U^2 B^2 K^2 A_3^*
\end{aligned} \tag{5}$$

上式中  $\mathbf{C}^{eff}$  與  $\mathbf{K}^{eff}$  分別為有效阻尼與勁度矩陣，由式(5)可知，此二矩陣隱含著氣動力阻尼與氣動力勁度之效應。因此，若能求得在無風狀態與某一風速下之有效勁度與阻尼矩陣，即可經由上式求得各顫振導數值。

### 8-3 類神經網路

類神經網路學習模式中，以倒傳遞神經網路(Back-Propagation Neural Network) 為最普遍的應用模式。其基本原理是利用最陡坡降法的觀念將誤差函數予以最小化。由於倒傳遞網路具有隱藏層，使得網路得以表現輸入處理單元間的交互影響，並且使用平滑可微分之轉換函數，使得網路可應用最陡坡降法導出修正網路加權值。

以倒傳遞神經網路進行學習運算，可分為三個階段，第一階段是資料向前傳遞，經由隱藏層之運算，可得第  $k$  個節點之輸出值

$$\begin{aligned}
Y_k &= \sum_{j=1}^{N_h} W_{kj} \left( \sum_{i=1}^{N_i} W_{ji} X_i + \theta_j \right) + \theta_k \\
&= \sum_{j=1}^{N_h} \sum_{i=1}^{N_i} W_{kj} W_{ji} X_i + (W_{kj} \theta_j + \theta_k)
\end{aligned} \quad k = 1, 2, \dots, N_o \tag{6}$$

式中  $w_{kj}$  與  $w_{ji}$  分別為輸出層與隱藏層，隱藏層與輸入層之間的權值。 $X_i$  為輸入訊號， $\theta_j$  為門檻值或閾值， $Y_j$  為輸出訊號， $N_h$ 、 $N_i$  與  $N_o$  分別為隱藏層、輸入層與輸出層的節點數。而轉換函數可為線性或非線性，本文所採用的轉換函數為線性轉換函數。由於監督式學習，旨在降低網路輸出單元目標輸出值與推論輸出值之差距，因此，第二階段是在訓練的過程中，以系統誤差監視學習品質，一般以能量函數或誤差函數。最後一個階段則是調整權值，倒傳遞網路可修正網路連結上的加權值，使網路能量函數達到最小值，因此，學習過程是透過最陡坡降法的方式，使能量函數最小化。

類神經網路識別法，其主要概念是經由類神經網路訓練結構系統自由振動歷時反應，並獲得代表此一系統輸入值與輸出值之映射函數關係，再利用此一關

係，透過時間序列法之識別技巧，求得結構系統的自然頻率、阻尼比與振態形狀。如圖 8-2 所示之網路架構，爲了獲得  $t$  時刻之反應  $Y_i(t)$ ，輸入值  $x_i(t-\bar{l})$  爲第  $i$  個自由度，第  $t-\bar{l}$  時刻之反應，其中  $\bar{l}=1, 2, 3, \dots, n$ 。因此，由式(6)可將輸出與輸入之關係，以數學模式表示矩陣形式

$$\begin{aligned} \{Y^{(o)}\}_{k \times 1} &= [W]_{k \times j} [W]_{j \times i} \{X\}_{i \times 1} \\ &+ ([W]_{k \times j} \{\theta\}_{j \times 1} + \{\theta\}_{k \times 1}) \end{aligned} \quad (7)$$

如果將輸出值  $\{Y^{(o)}\}_{k \times 1}$  展開，可寫成

$$\{Y^{(o)}\}_{k \times 1} = \begin{Bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ \vdots \\ x_k(t) \end{Bmatrix} \quad (8)$$

式中  $k$  爲系統之自由度數， $y_k(t)$  爲第  $k$  個自由度觀測值。合併式(7)與式(8)，可將式(7)改寫成

$$\{X(t)\} = [\bar{W}] \{X(t-i)\} + [\bar{C}] \quad (9)$$

其中  $[\bar{W}] = [W]_{k \times j} [W]_{j \times i}$ ，爲對應於觀測訊號值之有效權值，  
 $[\bar{C}] = [W]_{k \times j} \{\theta\}_{j \times 1} + \{\theta\}_{k \times 1}$ 。

由以上之推導可得到，結構於  $t$  時刻與  $t-1$  時刻反應之關係式，如式(9)所示。此式(9)之形式，與時間序列法中 ARX 模式之數學表示式相似

$$\{X\}_t = \sum_{i=1}^n [\phi_i] \{X\}_{t-i} + \{A\}_t \quad (10)$$

其中  $\{X\}_{t-i}$  爲一組觀測點於  $(t-i)$  時間所量得之反應向量； $[\phi_i]$  爲 AR 模式部分之係數矩陣， $\{A_t\}$  爲白噪， $n$  表示 AR 模式部分之係數矩陣之模數。比較式(9)與式(10)，可得

$$[\phi_i] = [W]_{k \times j} [W]_{j \times i} \quad (11)$$

因此，可由權函數求得 AR 模式部分之係數矩陣。另外，若從 ARX 模式中，去掉白噪項  $\{A_t\}$  後，其 AR 部分即代表系統之自由衰減振動反應。因此，可直接利用矩陣  $[\phi_i]$ ，一次求得系統之動態特性矩陣。若系統矩陣之第  $p$  個特徵值為  $a_p + ib_p$ ，可表示為

$$e^{\lambda_p \Delta t} = a_p + ib_p \quad (12)$$

其複數特徵值的形式為  $\lambda_p = \alpha_p + i\beta_p$ ，實部與虛部可分別計算為

$$\alpha_p = \ln(a_p^2 + b_p^2) / 2\Delta t \quad (13)$$

$$\beta_p = \tan^{-1}(b_p / a_p) / \Delta t \quad (14)$$

其中  $\beta_p$  為所謂之阻尼自然振動頻率。擬自然振動頻率則定義為

$$\tilde{\beta}_p = \sqrt{\alpha_p^2 + \beta_p^2} \quad (15)$$

而模態阻尼比為

$$\xi_p = -\frac{\alpha_p}{\tilde{\beta}_p} \quad (16)$$

另外，振態形狀可由特徵向量求得。

因此，由以上所述之類神經網路，可求得結構的頻率、阻尼比與振態形狀，而此動力參數與有效勁度矩陣與阻尼矩陣之關係為

$$\begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{I} \\ -\mathbf{M}^{-1}\mathbf{K}^{eff} & -\mathbf{M}^{-1}\mathbf{C}^{eff} \end{bmatrix} = \Phi \Lambda \Phi^{-1} \quad (17)$$

其中  $\Phi$  特徵向量組成之矩陣， $\Lambda$  為一特徵值所組成之對角矩陣，若  $\mathbf{M}$  矩陣為已知，則即可求得各風速狀態下之有效勁度矩陣與阻尼矩陣，再經由式(5)可求得 8 個顫振導數值。

## 8-4 數值分析

本文主要是以高屏溪斜張橋風洞實驗資料進行模擬，圖 8-3 為高屏溪橋之斷面模型尺寸，其他相關資料可參考 VCE(1993)風洞報告[12]。在數值模擬時，時間間隔是採  $\Delta t = 0.01\text{ s}$  [7]，為獲得自由振動衰減反應，在垂直向與扭轉向分別給予 1 單位的初始擾動位移。圖 8-4 為考慮平滑流場作用下，垂直向與扭轉向之自由振動位移歷時反應。位移歷時反應共取 1000 點，時間長度為 10 秒，進行類神經網路訓練。

在類神經網路訓練方面，如圖 8-2 所示，其中  $x1(t-n)$  與  $x2(t-n)$  為式(1)之  $h(t-n)$  與  $\alpha(t-n)$ ，本文係取前 8 個時間段反應，訓練出此  $t$  時刻之反應，因此， $n$  值為 8，輸入層共有 16 個節點，隱藏層設定為 16 個節點，輸出層則是 2 個節點。分析結果如圖 8-5 所示，由圖 8-5 可知，本文方法之結果與真實數值比較皆非常吻合，此顯示本文方法之可靠性與正確性。另外，對顫振導數  $A_4^*$  之識別誤差較大的原因，主要是因為  $A_4^*$  數值較小，而導致數值運算上之誤差。

## 8-5 結論

由數值模擬的結果發現，在自激力作用下，斷面模型之位移歷時反應呈現自由振動衰減的趨勢，因此，本文之識別方法可適用於考慮自激力作用下之顫振導數的識別。本文所提出以類神經網路之非傳統的運算方法，訓練結構的自由振動反應，且經由映射函數進行結構系統識別，探求出結構動力參數，最後求出各風速下之橋梁顫振導數，具有相當之準確性，未來，可將此一方法應用於含亂流場之反應訊號識別的研究。

## 參考文獻

1. 楊永斌、陳振華，「纜索支撐橋梁理論發展的回顧之一：十七世紀至 1880 年代」，結構工程，台北，台灣，第十卷，第二期，53-63 頁 (1995)。
2. 楊永斌、陳振華，「纜索支撐橋梁理論發展的回顧之二：1880 年代至 1940 年代」，結構工程，台北，台灣，第十卷，第三期，45-62 頁 (1995)。
3. 楊永斌、陳振華，「纜索支撐橋梁理論發展的回顧之三：1940 年代至 1990 年代」，結構工程，台北，台灣，第十卷，第四期，第 65-88 頁 (1995)。
4. Scanlan, R. H., and Tomko, J. J., "Airfoil and Bridge Deck Flutter Derivatives," Journal of Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol. 97, No. EM6, 1971, pp. 1717-1737.
5. Shinozuka, M., Yun, C. B., and Imai, H., "Identification of Linear Structural Dynamic System," Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol. 108, No. EM6, 1982, pp. 1371-1390.



6. Sarkar, P. P., Jones, N. P., and Scanlan, R. H., "Identification of Aeroelastic Parameters of Flexible Bridges," *Journal of Engineering Mechanics*, ASCE, Vol. 120, No. 8, 1994, pp. 1718-1742.
7. 陳振華、陳俊宇、李韻舟，(2002)「考慮抖振力之顫振導數識別」，第六屆結構工程研討會，屏東科技大學，墾丁，台灣，N07:1-14 頁。
8. Poulsen, N., Damsgaard, K. A., and Reinhold, T. A., "Determination of flutter derivatives for the Great Belt bridge," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 41, 153-164 (1992).
9. Yamada, H., Miyata, T., and Ichikawa, H., "Measurement of aerodynamic coefficients by system identification methods," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 41-44, 1255-1263 (1992).
10. Iwamoto M., and Fujino Y., "Identification of flutter derivatives of bridge deck from free vibration data," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 54-55, 55-63 (1995).
11. 陳振華、林堉溢，「應用類神經網路於顫振導數之研究」，中華民國第 26 屆全國力學研討會，國立虎尾技術學院，D024:1-12 (2002)。
12. Wind-Tunnel Tests for Kao Ping Hsi Bridge: Section Model Tests., Vienna Consulting Engineers, 1993.

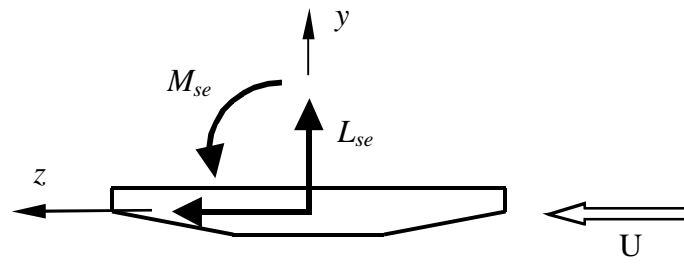


圖 8-1 橋梁斷面模型二維運動示意

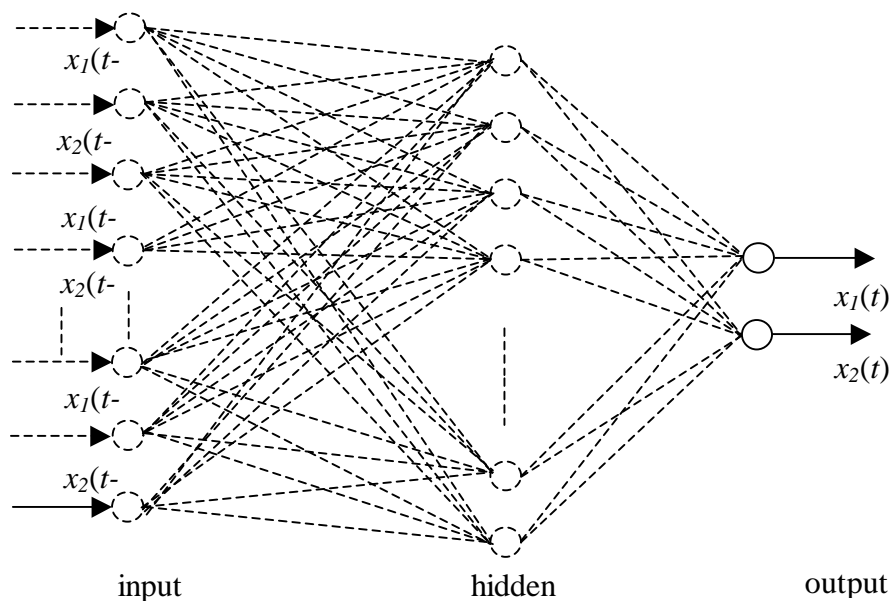


圖 8-2 類神經網路訓練架構

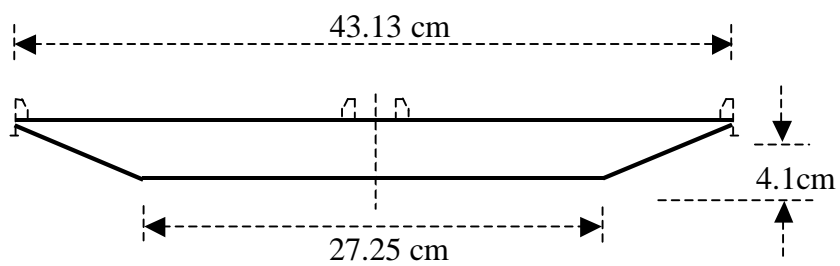


圖 8-3 高屏溪斜張橋斷面模型

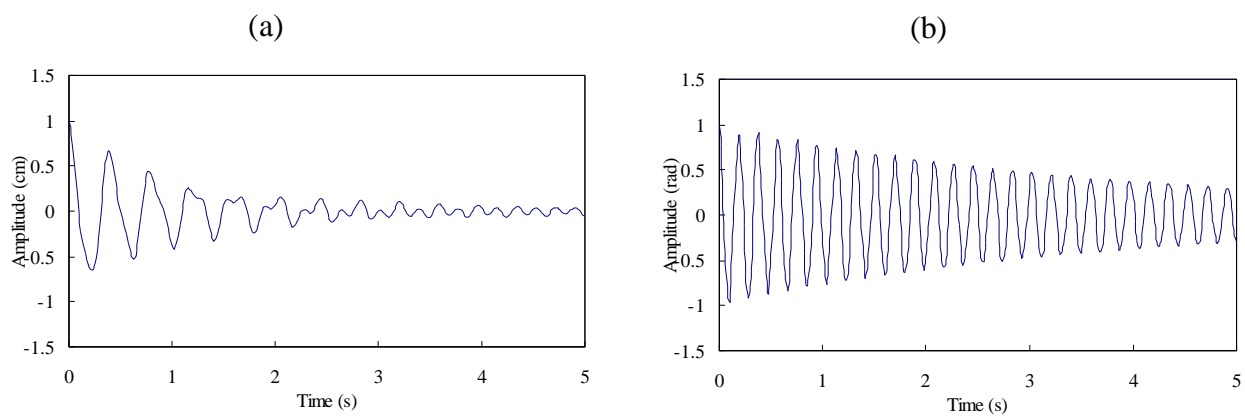


圖 8-4 平滑流場之歷時反應: (a)垂直向; (b)扭轉向( $U=12.59\text{m/s}$ )

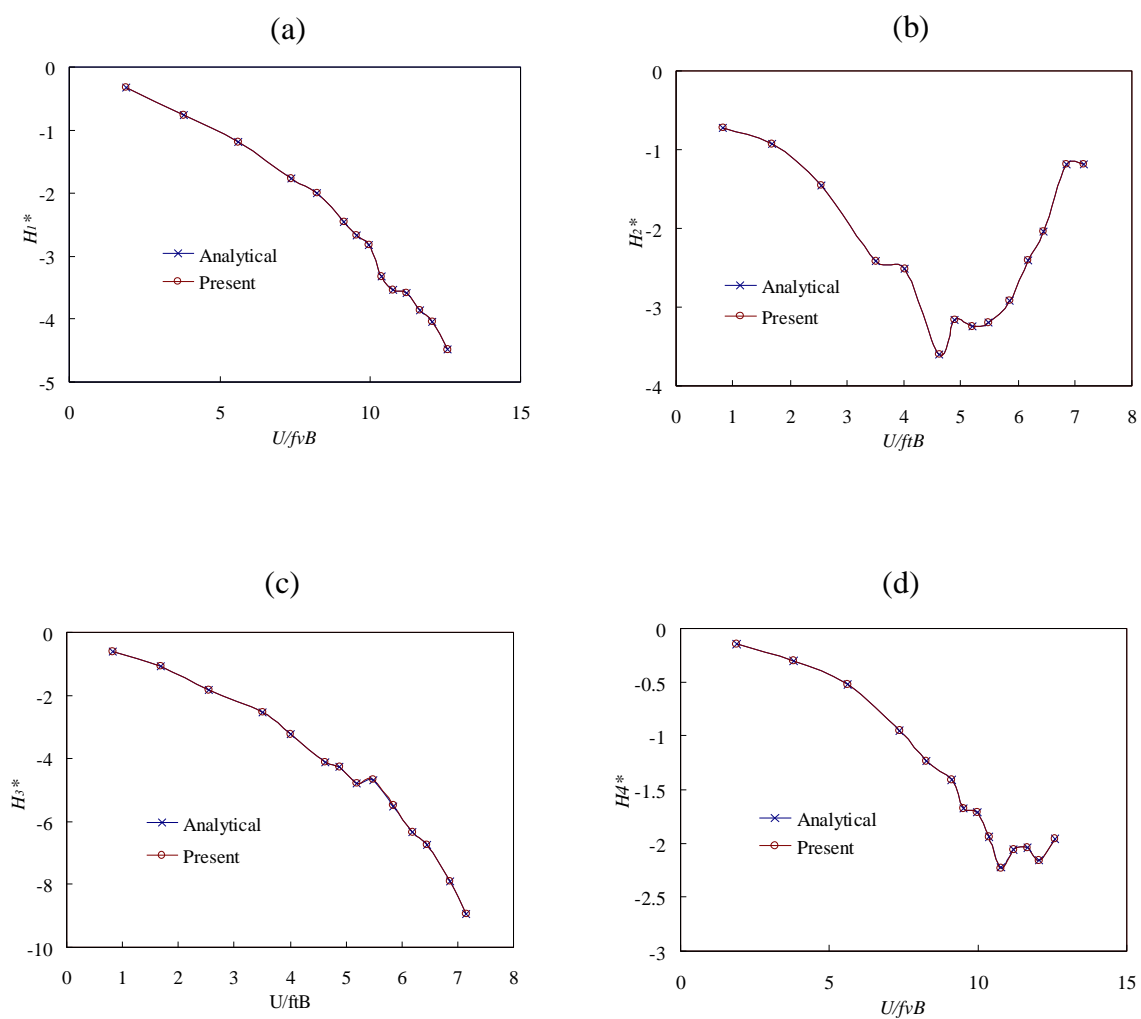


圖 8-5 識別顫振導數結果: (a)  $H_1^*$ ; (b)  $H_2^*$ ; (c)  $H_3^*$ ; (d)  $H_4^*$

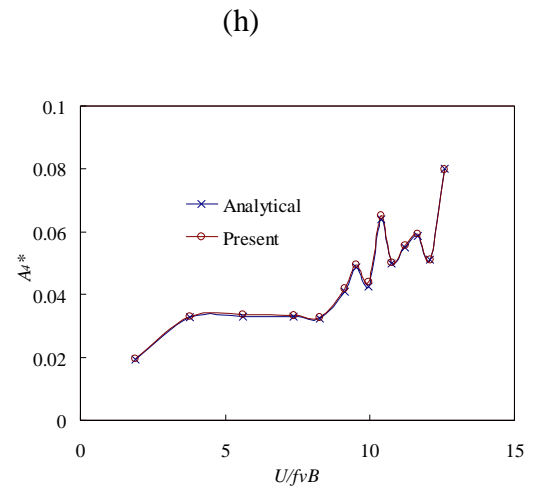
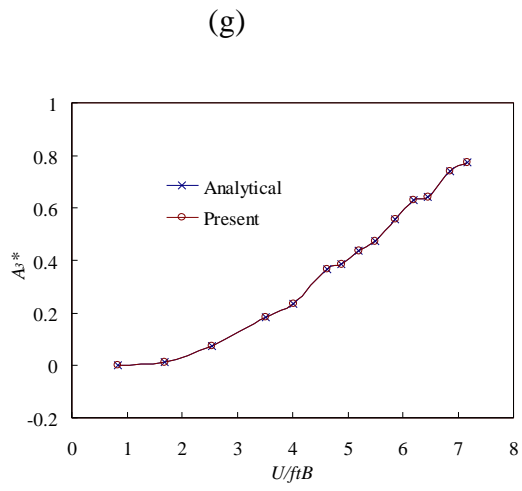
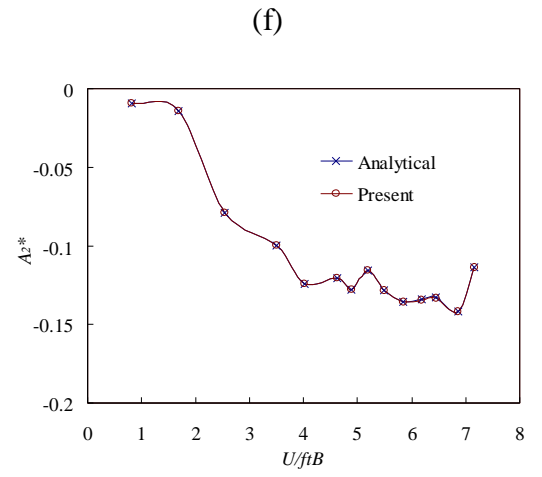
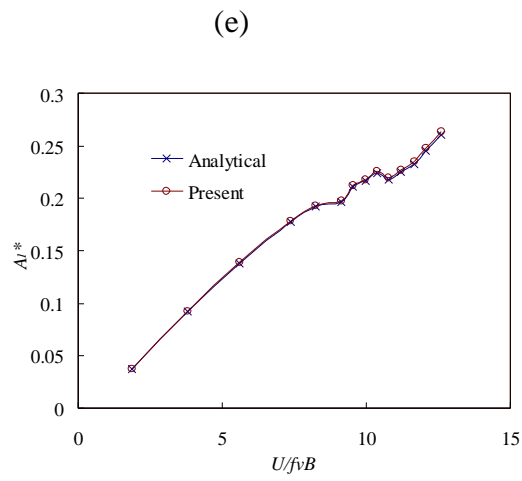


圖 8-5 續 識別顫振導數結果: (e)  $A_1^*$ ; (f)  $A_2^*$ ; (g)  $A_3^*$ ; (h)  $A_4^*$